

Российская Академия Наук
Волжское отделение Научного Совета
по комплексной проблеме «Распространение радиоволн»
Министерство образования Российской Федерации
Научно-исследовательский радиофизический институт

Региональный научный семинар

**РАСПРОСТРАНЕНИЕ МИКРОРАДИОВОЛН
В ПРИРОДНЫХ СРЕДАХ**

Нижний Новгород
23 мая 2000 года

Нижний Новгород 2000

Региональный научный семинар
РАСПРОСТРАНЕНИЕ МИКРОРАДИОВОЛН В ПРИРОД-
НЫХ СРЕДАХ // Препринт N 458 – Нижний Новгород:
НИРФИ, 2000. – 48с.

УДК 621.371.3: 537.52.77

В препринт включены тезисы докладов, представленных на региональный научный семинар «Распространение микрорадиоволн в природных средах». В докладах рассмотрены проблемы молекулярного поглощения и преломления, рассеяния и поляризации микроволнового излучения в системе «атмосфера – подстилающая поверхность», а также влияние гидрометеоров и флуктуаций на распространение радиоволн. В программе семинара нашли отражение принципы создания аппаратуры микроволнового диапазона и вопросы применения методов распространения микрорадиоволн в задачах дистанционного зондирования природной среды.

Программный комитет семинара :

Снегирев С.Д. (председатель), Наумов А.П. (сопредседатель),
Китай Ш.Д., Федосеев Л.И., Шейнер О.А.

АППАРАТУРА ДИАПАЗОНА 45-200 ГГЦ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ В МЕСТЕ НАБЛЮДЕНИЯ

А.Ф. Крупнов, В.В. Паршин, М.Ю. Третьяков, В.Н. Шанин
Институт прикладной физики РАН

Для исследования поглощения микроволн в реальной атмосфере и в реальном масштабе времени в месте наблюдения создана установка диапазона 45–200 ГГц, блок-схема которой приведена на рис. 1.

Измерительным элементом является открытый резонатор Фабри–Перо длиной 200–400 мм и добротностью ~ 600000 . Источник излучения – ЛОВ, стабилизированная системой ФАПЧ. Запись резонансной кривой осуществляется с помощью быстрого синтезатора (время переключения частоты 200 нс, время между переключениями от ~ 60 мкс, переключение происходит без потери фазы колебания). Характерное время двустороннего скана составляет ~ 30 мс. Отклик резонатора принимается детектором и записывается в ЭВМ.

Величиной, измеряемой непосредственно в эксперименте по определению поглощения, является ширина резонансной кривой. Определение ширины включает автоматическое описание экспериментальной формы резонанса лоренцевой кривой. При усреднении 500 сканов точность измерения ширины резонансной кривой составила ~ 20 Гц при ширине ~ 200 кГц, что соответствует чувствительности установки по поглощению $\sim 0,0018$ дБ/км.

Основными режимами работы установки являются запись спектра поглощения атмосферы в широком диапазоне и определение абсолютного поглощения на фиксированной частоте методом вариации длины пути поглощения (изменением длины резонатора).

Сканирование частоты по диапазону ЛОВ может осуществляться шагами по собственным модам резонатора с шагом ~ 500 МГц без механической перестройки длины резонатора. Установка позволяет в полуавтоматическом режиме получать запись атмосферного поглощения в диапазоне ЛОВ типа ОВ-70, ОВ-71, ОВ-87

Время перестройки длины резонатора и записи величины поглощения существенно меньше характерного времени изменения метеопараметров в лабораторных условиях. Это позволяет реализовать метод вариации дальности в чистом виде, недоступном для реальных трассовых измерений большой протяженности из-за вариации метеопараметров по трассе.

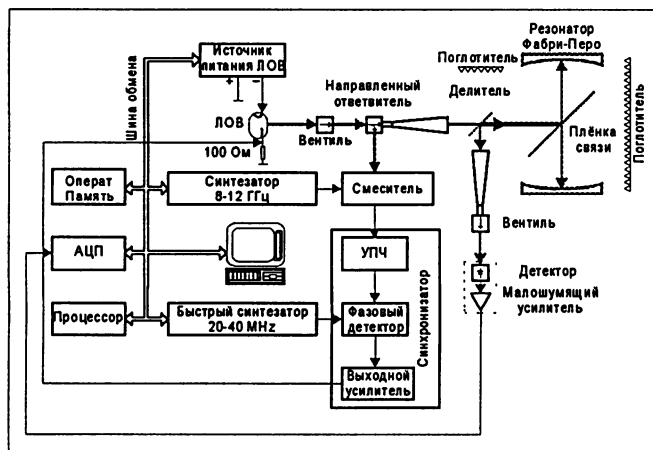


Рис. 1

Литература

1. Krupnov A.F., Tretyakov M.Yu., Parshin V.V., Shanin V.N., Kirillov M.I. Precision resonator microwave spectroscopy in millimeter and submillimeter range // *Int. J. IR and MM Waves*. – 1999. – 20. – P. 1731.
2. Krupnov A.F., Tretyakov M.Yu., Parshin V.V., Shanin V.N., Myasnikova S.E. Modern millimeter-wave resonator spectroscopy of broad lines // *J. Mol. Spectros.* (accepted for publication).

ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗОНАТОРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В ДИАПАЗОНЕ 45–200 ГГц

А.Ф. Крупнов, С.Е. Мясникова, В.В. Паршин,
М.Ю. Третьяков
Институт прикладной физики РАН

Исследования поглощения в атмосфере производились на установке, представленной в отдельном докладе на этой конференции. Измерительным элементом является открытый резонатор Фабри–Перо. Используется быстрый синтезатор частоты. Измерения поглощения выполнены в лабораторных условиях при различных комбинациях метеопараметров.

Исследования охватили полосу поглощения кислорода в районе 60 ГГц, отдельную линию кислорода на 118 ГГц и линию поглощения воды на 183 ГГц. Впервые достигнута ширина сканирования в одном эксперименте ~ 90 ГГц.

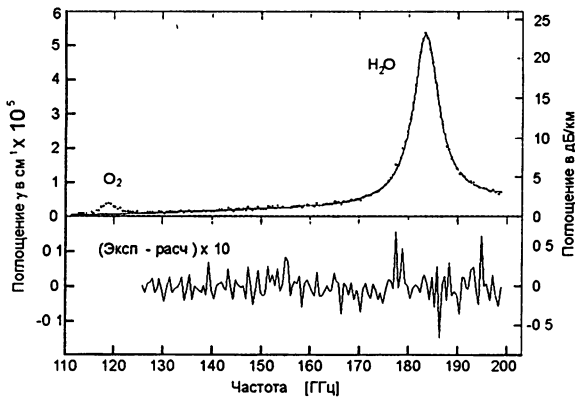


Рис. 1.

На рис. 1 приведен спектр поглощения атмосферы в диапазоне 113–200 ГГц (точки – эксперимент). Профиль линии воды описан формой Ван Флека–Вейскопфа (непрерывная линия) при расстройке

до 20 полуширин линии. Расчетная интегральная интенсивность совпала с экспериментальной с точностью 2%. Найден параметр уширения линии воды сухим воздухом ($3,985 \pm 0,04$ МГц/Торр).

Методом вариации длины резонатора было измерено абсолютное поглощение в атмосфере на частоте 140,286 ГГц, равное

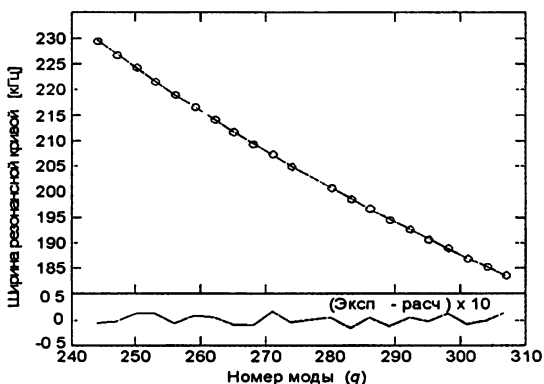


Рис. 2.

0,4301(27) дБ/км (рис. 2). Результат измерения сравнивается с моделью Г. Либе (МРМ-89, МРМ-92) и последней версией П.В. Розенкранца. Расчет поглощения для данных атмосферных условий дает 0,443 дБ/км.

Применение описываемых методик позволяет разделить резонансные потери в линии, собственные потери в резонаторе и нерезонансные потери в атмосфере.

Разработанные методики позволяют осуществлять прецизионный мониторинг атмосферы в реальном времени (например, измерение влажности и т.д.).

Литература

1. Krupnov A.F., Tretyakov M.Yu., Parshin V.V., Shanin V.N., Kirillov M.I. Precision resonator microwave spectroscopy in millimeter and submillimeter range.// Int. J. IR and MM Waves. –1999.–V 20.– P. 1731.
2. Krupnov A.F., Tretyakov M.Yu., Parshin V.V., Shanin V.N. and Myasnikova S.E. Modern millimeter-wave resonator spectroscopy of broad lines.// J. Mol. Spectros. (accepted for publication).

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ НА РАБОТУ РАДИОГЕЛИОПЕЛЕНГАТОРА В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

Л.И. Федосеев

Институт прикладной физики РАН

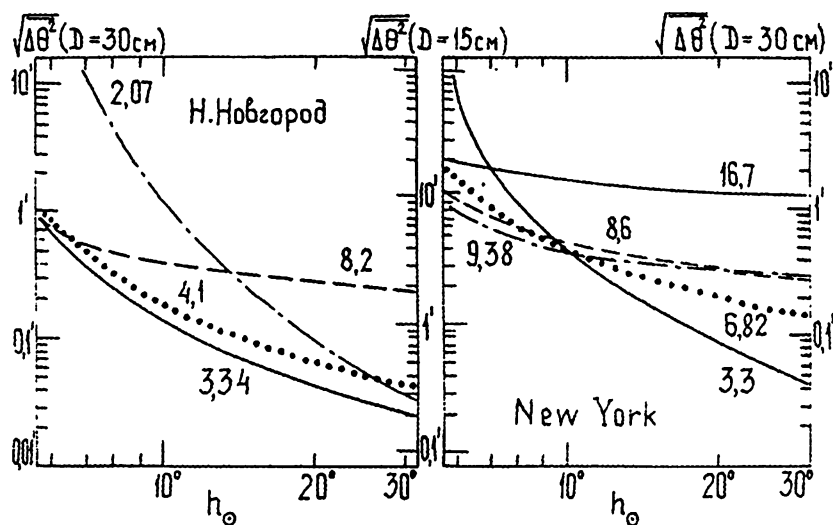
Несмотря на широкое распространение современных средств навигации, надежные и полностью автономные средства астропеленгации – секстант и радиосекстант – вряд ли будут всецело вытеснены из практики навигации (морской, авиационной и др.). Более того, время от времени возникают требования их совершенствования, комплексирования с другими приборами, уменьшения габаритов и т.п.. В части, касающейся радиосекстанта, один из путей такого совершенствования давно уже связывается с переносом его рабочего диапазона в миллиметровый, т.к. при этом можно не только уменьшить диаметр антенны, но еще и улучшить соотношение сигнал/шум на выходе системы за счет допускаемого Регламентом радиосвязи расширения полосы частот приема, а главное, — улучшить точность пеленгации за счет существенно меньшего влияния солнечной активности на положение центра тяжести излучения диска Солнца.

Однако в миллиметровом диапазоне значительно возрастает роль земной атмосферы, проявляющаяся как в возрастании ослабления в ней сигнала от пеленгуемого источника, так и в возрастании флуктуаций пеленга из-за влияния неоднородностей на трассе в телесном угле обсервации. Не касаясь влияния этих неоднородностей на точность пеленгации (этот вопрос заслуживает отдельного рассмотрения), оценим ограничения точности, обусловленные только величиной атмосферного ослабления в некоторых физико-географических зонах земного шара.

Для вычисления величины стандарта углового отклонения $\sqrt{\Delta\Theta^2}$ от истинного пеленга, обусловленной атмосферным ослаблением сигнала до уровня ниже собственного шума приемника, положим, что в плоскостной атмосфере производится коническое сканирование осесимметричной

диаграммой направленности по диску Солнца с равномерным распределением радиояркости; годовые кумулятивные распределения вероятности полного вертикального ослабления известны, диаметр антенны D равен 30 или 15 см, а чувствительность радиометра – 0,4К.

Пример результатов расчета показан на рисунке, где в зависимости от угла места Солнца h_{\odot} приведены верхние границы значений $\sqrt{\Delta\Theta^2}$, которые могут быть превзойдены (точность будет выше) в течение около 90% времени года в континентальном и приморском районах при работе пеленгатора на подписанных около соответствующих кривых длинах волн (даны в мм).



Аналогичные характеристики получены и для других климатических зон США.

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ ЭФФЕКТ ПРИ РАССЕЯНИИ МИКРОВОЛНОВОГО АТМОСФЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОБЛАКЕ ИЗ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ

А. А. Швецов

Институт прикладной физики РАН

Рассматривается эффект возникновения линейной поляризации при рассеянии микроволнового излучения окружающего фона (атмосферы и земной поверхности) на облаке сферических частиц. Такое облако может рассматриваться в качестве модели вулканического выброса, пылевой бури, града или облака антропогенного происхождения. На основе теории Ми для сечений и индикатрис рассеяния рассчитаны спектры поляризационного контраста оптически тонкого облака, а также тонкого горизонтального слоя из сферических частиц произвольного размера из кварца и обсидиана. Показано, что главной причиной поляризационного эффекта при умеренной оптической толщине вышележащего слоя атмосферы является неизотропность нисходящего излучения. При малых оптических толщинах атмосферы заметный вклад в поляризацию вносит также разница в интенсивности падающего на облако излучения из верхней и нижней полусферы. Максимум разности яркостных температур на вертикальной и горизонтальной поляризациях в направлении наблюдений, близком к горизонтальному, имеет место при оптической толщине атмосферы в зените около 0,3 Нп. В общем случае спектр поляризационного контраста в значительной степени зависит от функции распределения частиц по размерам, что, в принципе, даёт возможность оценки параметров распределения по результатам измерений поляризации на нескольких частотах. При монодисперсном распределении величина поляризационного контраста для горизонтального слоя может достигать десятков градусов К. Однако с увеличением дисперсии размеров частиц она значительно уменьшается.

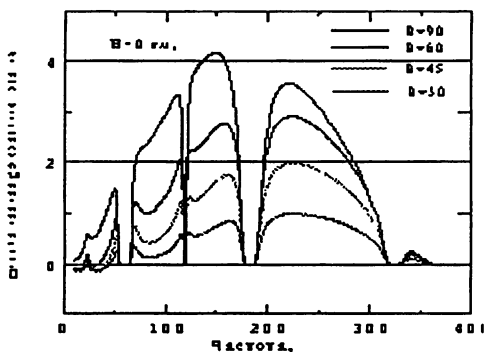


Рис. 1.

На рис. 1 приведен пример расчета поляризационного спектра для находящегося вблизи земной поверхности оптически тонкого облака частиц из вулканического стекла ($\epsilon = 5,6 + 0,3i$) со степенным распределением частиц по размерам с показателем степени равным -3 для нескольких значений зенитного угла. На пригоризонтальных трассах в типичных летних условиях средней полосы максимум поляризационного эффекта имеет место в 2-миллиметровом окне прозрачности атмосферы. При уменьшении влагосодержания атмосферы или при уменьшении зенитного угла максимум сдвигается в более коротковолновую область спектра. В длинноволновой части диапазона при уменьшении зенитного угла поляризационный контраст меняет знак, что связано с влиянием излучения земной поверхности.

Были выполнены также расчёты величины поляризационного контраста для тонкого горизонтального слоя, который может рассматриваться как предельный случай облака. Показано, что для слоя частиц из обсидиана с упомянутыми выше параметрами поляризационная разность яркостных температур может достигать 1 К. Оценки для слоя из песчаных частиц с характерным для пылевых бурь нормально логарифмическим распределением дают величину поляризационного контраста в 2-х мм окне порядка 8 К.

Результаты расчётов говорят о перспективности использования поляризационного эффекта для целей дистанционного зондирования такого рода объектов.

ПОЛЯРИЗАЦИЯ ТЕПЛОВОГО МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СМЕШАННЫХ ОБЛАКОВ

А.М. Ошарин, А.В. Троицкий

Научно-исследовательский радиофизический институт

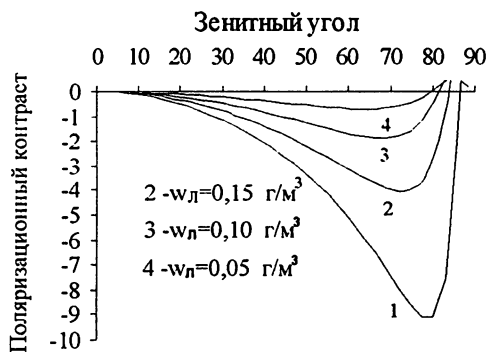
В работах [1, 2] приведены результаты экспериментальных исследований поляризации теплового микроволнового излучения облачной атмосферы, свидетельствующие о наличии частичной поляризации нисходящего излучения зимне-весенних облаков на волне 3 мм. Исследования поляризационных характеристик облачной атмосферы проводились с января по июль 1999г. в Нижнем Новгороде с помощью двухканального модуляционного радиометра, принимавшего атмосферное излучение параллельно на вертикальной и горизонтальной поляризациях, и измерявшего соответствующую разность яркостных температур (поляризационный контраст). Средняя величина поляризационного контраста на зенитном угле 70° за время наблюдений составила $\sim 3\text{К}$. Максимально наблюдаемые поляризационные контрасты достигали величины $\sim 9\text{К}$. Наблюдались контрасты обоих знаков. В летних облаках поляризационный эффект наблюдался в единичных случаях при развитой конвективной облачности большой вертикальной протяженности и по модулю не превосходил 2 К. Поляризационный контраст не коррелировал с интегральной водностью переохлажденной воды в облаках, которая определялась из радиометрических измерений абсолютных значений яркостной температуры на длине волны 3 мм, зависящей, в основном, от интегральной водности.

В работе [2] дана интерпретация полученных данных на основе модели переноса излучения в кристаллических облаках, где показано, что поляризационные контрасты, по модулю не превосходящие 3К, можно объяснить рассеянием внешнего атмосферного и собственного облачного излучения на пространственно-ориентированных ледяных кристаллах пластинчатой и игольчатой формы, не выходя за рамки реально существующих параметров облаков (значений их водности и толщины). В настоящем сообщении анализируются поляризационные характеристики теплового излучения смешанных

облаков, в которых помимо кристаллов льда присутствует еще и значительное количество мелкокапельной влаги. Форма ледяных кристаллов аппроксимировалась сплюснутыми сфероидами, отношение малой и большой осей которых задавалось в соответствии с эмпирически полученными выражениями [4], характерными для кристаллов пластинчатой формы.

Распределение облачных частиц (кристаллов и капель) по размерам задавалось в соответствии с модифицированным гамма-распределением [2], параметры которого связаны с удельной водностью w облака (в случае кристаллической фазы эту величину называют ледностью- $w_{\text{л}}$), и модальным размером d_m - величиной, характеризующей средний размер частиц в распределении.

На рисунке приведены кривые угловой зависимости поляризационных контрастов облаков смешанного типа, содержащих горизонтально-ориентированные пластинчатые кристаллы с модальным размером 500 мкм, полученные на основе решения векторного уравнения переноса излучения методом дискретных ординат Гаусса с учетом всех кратностей рассеяния. Толщина облачного слоя - 2 км, высота нижней границы облака - 1 км. Поверхность земли предполагалась чернотельной.



Суммарная водность облака полагалась равной характерному значению $w = 0,2 \text{ г/м}^3$, а соотношение содержания воды в твердой (кристаллы) и жидкой (капли) фазах варьировалось. Рост доли кристаллической фракции внутри облака увеличивает абсолютную величину поляризационного контраста почти на всех углах наблюдения, за исключением углов, близких к горизонтали, где может происходить смена знака поляризационного контраста. Наибольшие по величине контрасты в рамках рассмотренной модели получаются для кристаллических облаков (кривая 1), несмотря на то, что величина их собственного излучения меньше величины излучения облаков, содержащих мелкокапельную фракцию.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант No.00-02-16037.

Литература

1. Троицкий А.В., Ошарин А.М. Поляризация микроволнового излучения облачной атмосферы.-В сб.тез. Международ. симп. стран СНГ "Атмосферная радиация" (12–15 июля 1999 г.), 1999. – С.27.
2. Троицкий А.В., Ошарин А.М. Рассеяние и поляризация теплового микроволнового излучения облачной атмосферы. // Препринт N 457.– Н.Новгород: НИРФИ, 2000.– 36с.
3. Deirmendjian D. Electromagnetic Scattering on Spherical Polydispersions, Elsevier, N.Y., 1969.
4. Auer A.H., Veal D.L. // J. Atmos. Sci.. – 1970.– V. 27, No 6.– P. 422.

ВЛИЯНИЕ МНОГОКРАТНОГО РАССЕЯНИЯ НА ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВОГО МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОБЛАЧНОЙ АТМОСФЕРЫ

А.М. Ошарин, А.В. Троицкий

Научно-исследовательский радиофизический институт

В работе [1] анализируются поляризационные характеристики теплового микроволнового излучения смешанных облаков на длине волны 3 мм, полученные на основе численного решения уравнения переноса излучения с учетом всех кратностей рассеяния. Особенности микроструктуры смешанных облаков позволяют наряду с численным решением уравнения переноса получить для него более простое приближенное аналитическое решение. Исследованию вопроса о точности указанного приближения посвящено данное сообщение. В [2] показано, что альbedo единицы объема кристаллического облака в зависимости от максимального размера кристаллов без учета поглощения в окружающей частице среде довольно быстро становится сравнимым с единицей. Для смешанных облаков это уже не так. Учет поглощения в атмосфере и облачных каплях существенно уменьшает величину среднего альbedo единицы объема облачной среды, что позволяет использовать альbedo в качестве малого параметра задачи и получить аналитическое выражение для яркостной температуры нисходящего излучения смешанных облаков методом последовательных итераций. В первом порядке теории многократного рассеяния на нижней границе облака имеем

$$\begin{aligned}
 T_{\text{Я}}^{\alpha}(\pi - \theta, z = z_1) &= T_{\text{Я, АТМ}}(\pi - \theta, z = z_2) e^{-k_{\text{осл}}^{\alpha}(\pi - \theta) h \sec \theta} + \\
 &+ T (1 - e^{-k_{\text{осл}}^{\alpha}(\pi - \theta) h \sec \theta}) (1 - \varpi_{\alpha}^2(\pi - \theta)) + \\
 &+ \sec \theta \sum_{\beta=v, h} \int_0^{\pi/2} d\theta' \sin \theta' \left\{ Q_{\alpha\beta}(\pi - \theta, \theta') [\tilde{T}_{\text{Я}}(\theta') - \frac{k_{\text{пор}}^{\beta}(\theta')}{k_{\text{осл}}^{\beta}(\theta')} T] \right\} \times
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \times \frac{1 - e^{-(k_{\text{осл}}^{\alpha}(\pi-\theta)\sec\theta + k_{\text{осл}}^{\beta}(\theta')\sec\theta')h}}{k_{\text{осл}}^{\alpha}(\pi-\theta)\sec\theta + k_{\text{осл}}^{\beta}(\theta')\sec\theta'} + \\ & + Q_{\alpha\beta}(\pi-\theta, \pi-\theta') \left[T_{\text{я, атм}}(\pi-\theta', z=z_2) - \frac{k_{\text{пог}}^{\beta}(\pi-\theta')}{k_{\text{осл}}^{\beta}(\pi-\theta')} T \right] \times \\ & \times \frac{1 - e^{-(k_{\text{осл}}^{\beta}(\pi-\theta')\sec\theta' - k_{\text{осл}}^{\alpha}(\pi-\theta)\sec\theta)h}}{k_{\text{осл}}^{\beta}(\pi-\theta')\sec\theta' - k_{\text{осл}}^{\alpha}(\pi-\theta)\sec\theta} e^{-k_{\text{осл}}^{\alpha}(\pi-\theta)h\sec\theta} \} \end{aligned}$$

Здесь $0 \leq \theta \leq \pi/2$ – зенитный угол, $T_{\text{я, атм}}(\pi-\theta, z=z_2)$ – угловое распределения яркостной температуры атмосферного излучения на верхней границе облака, $\tilde{T}_{\text{я}}(\theta)$ – яркостная температура восходящего излучения подоблачного слоя, T – термодинамическая температура облачных частиц, h – толщина облачного слоя, ϖ_{α} – среднее альбедро облачной среды, $Q_{\alpha\beta}(\theta, \theta')$ – компоненты усредненной по азимутальному углу фазовой матрицы облачных частиц, $k_{\text{осл}}^{\alpha}(\theta)$ и $k_{\text{пог}}^{\alpha}(\theta)$ – коэффициенты ослабления и поглощения частиц и окружающего воздуха внутри облака на поляризации α ($\alpha = V, H$).



На рисунке представлена угловая зависимость поляризационного контраста $\Delta T_{\text{я}} = T_{\text{я}}^{\text{V}} - T_{\text{я}}^{\text{H}}$, обусловленного облаком смешанного типа, содержащим горизонтально-ориентированные пластинчатые кристаллы с модальным размером 500 мкм. Толщина облака — 2 км, высота — 1 км. Водность облака полагалась равной характерному значению $w_{\text{в}} = 0,1 \text{ г/м}^3$, которое обычно встречалось во время наблюдений [2]. Ледность $w_{\text{л}} = w_{\text{в}}$. Штриховая кривая отвечает первому порядку теории многократного рассеяния, сплошная — учету всех кратностей рассеяния. Видно, что результат, полученный в первом порядке теории многократного рассеяния, является хорошим приближением к точному решению за исключением углов, на которых наблюдается завал контраста.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ No. 00-02-16037.

Литература

1. Троицкий А.В., Ошарин А.М. Поляризация теплового микроволнового излучения смешанных облаков (см. настоящий сборник).
2. Троицкий А.В., Ошарин А.М. Рассеяние и поляризация теплового микроволнового излучения облачной атмосферы // Препринт N 457. — Н.Новгород: НИРФИ, 2000. — 36с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОТРАЖЕНИЯ КОРОТКИХ МИЛЛИМЕТРОВЫХ РАДИОВОЛН ОТ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Б.А.Свердлов, Н.И.Фурашов

Научно-исследовательский радиофизический институт

В докладе сообщается о результатах измерений коэффициента зеркального отражения радиоволн снежным покровом на частотах 138 и 247 ГГц и об обнаруженной при этом сильной изменчивости уровня флуктуаций отраженного сигнала. В отличие от ранее выполненных измерений [1–3], в которых коэффициент отражения снежного покрова вычислялся по зарегистрированной интерференционной структуре поля, являющейся результатом суперпозиции прямой и отраженной волн, нами он измерялся непосредственно, т.е. путем последовательной регистрации прямого и отраженного сигналов.

Измерения проводились на территории загородной лаборатории НИРФИ «Зименки». Радиотрасса длиной 1025 м проходила над ровной земной поверхностью со скошенной летом травой. Параболические антенны передающего и приемного устройств диаметром 920 мм располагались на высоте 5 и 2,5 м соответственно. Ширина диаграммы направленности передающей антенны (на уровне 0,5 по интенсивности) на частотах 138 и 247 ГГц составляла соответственно 10' и 7'. Поляризация излучения на обеих частотах была горизонтальной. Подробные сведения о приемно-передающей аппаратуре содержатся в [4].

При измерениях отражения от снежного покрова его толщина составляла 20–40 см. Большая часть сеансов измерений проведена сразу после нескольких прошедших снегопадов. Температура воздуха за время измерений изменялась от +1 до -12°C . В результате для амплитудного коэффициента отражения V снежного покрова получены значения, лежащие в интервалах: $V(138 \text{ ГГц}) = 0,22 - 0,43$ и $V(247 \text{ ГГц}) = 0,15 - 0,18$. Данные получены при угле скольжения около $0,4^{\circ}$. Случайная относительная ошибка измеренных значений V

составляет 5–10%, возможная систематическая погрешность, связанная с попаданием на приемник при регистрации отраженного излучения небольшой доли прямого сигнала, по оценкам, не выходит за пределы указанной случайной ошибки. В докладе проводится сопоставление полученных значений V с экспериментальными данными других авторов.

В процессе измерений было обнаружено, что отраженные сигналы, зарегистрированные в разные дни, по уровню флуктуаций могут существенно отличаться друг от друга. Наименьший уровень флуктуаций наблюдался в дни, когда скорость ветра на радиотрассе не превышала 2–3 м/с. В такие дни глубина хаотической модуляции (ГХМ) отраженного сигнала составляла $1 \div 2\%$, что превышало ГХМ прямого сигнала не более, чем в 1,5–2 раза. Наиболее сильные флуктуации, имевшие характер замираний, были зарегистрированы в сеансах измерений, проводившихся при сильном порывистом ветре ($7 \div 12$ м/с). В этих случаях относительная глубина замираний отраженного сигнала в отдельные моменты времени достигала 20 и более процентов. Явление замираний сигнала в докладе связывается с ветровым переносом частиц снега вблизи поверхности снежного покрова.

Литература

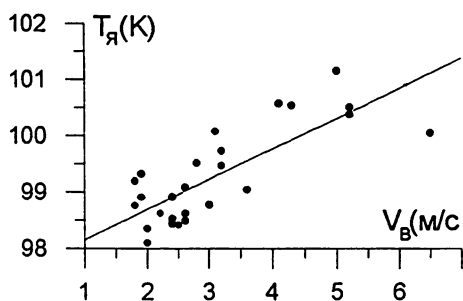
1. Андреев Г.А., Мартынова З.А., Хохлов Г.И. Влияние отражения подстилающей поверхности на прием ММВ.// Радиотехника. — 1979. — Т.34, N 8. — С. 73.
2. Бабкин Ю.С., Исмаилов А.Т., Новиков С.С., Строганов Л. И. Измерения коэффициента отражения снежного покрова в коротковолновой части миллиметрового диапазона.// Радиотехника и электроника. —1982.— Т.27, N 8.— С. 1641.
3. Потапов А.А. Радиофизические эффекты при взаимодействии электромагнитного излучения миллиметрового диапазона волн с окружающей средой. Ч. 4.// Зарубежная радиоэлектроника. — 1993.— N 3. — С. 36.
4. Фурашов Н.И., Свердлов Б.А. Результаты сравнительных измерений ослабления радиоволн в снегопадах на частотах 138 и 247 ГГц.// Изв.ВУЗов. Радиофизика. —1999.—Т.42, N 2.— С. 103.

РАДИОЯРКОСТНАЯ ТЕМПЕРАТУРА РЯБИ В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ

И.Т.Бубукин, К.С.Станкевич, В.П.Иванов

Научно-исследовательский радиофизический институт

При дистанционном определении температурных распределений на морской поверхности по ее собственному радиоизлучению основным источником ошибок является морское волнение. Воздействие волнения на излучение морской поверхности существенно зависит от соотношения между длиной волны принимаемого излучения и масштабом морской волны. В НИРФИ создана радиометрическая система, убирающая влияние крупномасштабного ветрового волнения на измерение температурных распределений на морской поверхности. В этом случае основным источником ошибок становятся флуктуации, вызванные гравитационно-капиллярными волнами (рябью). В НИРФИ впервые проведены натурные измерения радиоярких температур ряби в условиях ветрового волнения и определена их зависимость от скорости ветра.



Натурные измерения проводились летом 1999 г. с бетонного пирса, имеющего свайное основание, на расстоянии ~ 100 м от берега в районе г.Феодосии. Радиометрический стенд на длину волны 4 см имел параболическую антенну диаметром 1 м с пятном разрешения на морской поверхности $\sim 0,5$ м при угле наблюдения $- 40^\circ$ ниже горизонта. Изменения яркостной температуры, вызванные рябью,

достигали 2–3 К при скоростях ветра 5–6 м/с. Приращение яркостной температуры составляло ~ 0,5 К при увеличении скорости ветра на 1 м/с.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 98-05-64545 и 99-05-79079) и МО РФ (проект 3-14).

СУТОЧНЫЙ ХОД ТЕМПЕРАТУРЫ В ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЛЁНКЕ НА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ

И.Т. Бубукин, К.С. Станкевич, В.П. Иванов

Научно-исследовательский радиофизический институт

На границе раздела водная поверхность – атмосфера образуются термические плёнки толщиной несколько миллиметров, устойчивые к влиянию ветра и волнения. Градиент температуры в термических плёнках связан с энергообменом между океаном и атмосферой, состоянием водной поверхности. Так как тепловое радиоизлучение морской поверхности в сантиметровом диапазоне длин волн формируется в пределах термических плёнок, приём собственного радиоизлучения позволяет получить информацию о температурах на этих глубинах. При этом основной проблемой является влияние волнения на радиоизлучение взволнованной морской поверхности. В ходе исследований спектрально-поляризационных свойств радиоизлучения моря было показано, что при сложении сигналов, принятых одновременно на вертикальной и горизонтальной поляризациях, происходит компенсация флуктуаций, вызванных волнением. Эта идея была реализована в созданном в НИРФИ измерительном стенде, позволяющем почти полностью устранить флуктуации радиоизлучения, вызванные крупномасштабным волнением. Измерения проводились в натуральных условиях на длине волны 4 см, где толщина скин-слоя, формирующего радиоизлучение моря, составляет 2–3 мм, что порядка толщины температурной плёнки. Методами абсолютных измерений получен временной ход радиояркой температуры в зависимости от времени суток. Из радиояркой температур был вычтен вклад радиоизлучения ряби, зависящий от скорости ветра. По радиояркой температуре решается обратная задача определения температуры в поверхностной плёнке с погрешностью $\sim 0,5$ К. Получен временной ход температуры в плёнке в течение суток.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 98-05-64545 и 99-05-79079) и МО РФ (проект 3-14).

ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ АКВАТОРИЙ ПОСРЕДСТВОМ РАДИОЛОКАЦИИ В КОРОТКОВОЛНОВОЙ ЧАСТИ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН

Л.В.Лубяко

Институт прикладной физики РАН

Загрязненность поверхности акваторий нефтепродуктами и их производными является серьезной экологической проблемой. Образующиеся на поверхности вследствие загрязнения тонкие пленки органического вещества существенно влияют на обменные процессы океан – атмосфера и биологию моря. Обнаружение очагов загрязнения дистанционными методами представляет интерес для создания системы мониторинга поверхности акваторий.

Основой известных методов обнаружения тонких пленок на водной поверхности является изменение структуры волнения или изменение диэлектрических свойств поверхностного слоя. Первое связано с подавлением коротковолновой компоненты в пространственном спектре ветрового волнения. При этом образуются “выглаженные” участки – слики. По контрасту с незагрязненной поверхностью слики могут обнаруживаться как оптическими, так и радиолокационными средствами. Второе -- с просветляющим эффектом пленки. В радиодиапазоне оба эти эффекта усиливаются с укорочением длины волны излучения, что привлекает внимание к коротковолновой части миллиметрового диапазона волн.

В настоящем сообщении представлены результаты исследований обратного рассеяния от водной поверхности и теплового излучения системы атмосфера – поверхность, выполненных в разное время в ИПФ РАН (за ограниченностью места список литературы приводится в докладе).

Эксперименты проводились в натуральных условиях с помощью скаттерометра и радиометра двухмиллиметрового диапазона волн. Измерения показывают наличие устойчивого контраста эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) сликов как естественного, так и искусственного происхождения. В частности, контраст

наблюдавшихся с самолета штилевых полос — сликов на фоне мелкой ветровой ряби составлял не менее 10–15 дБ.

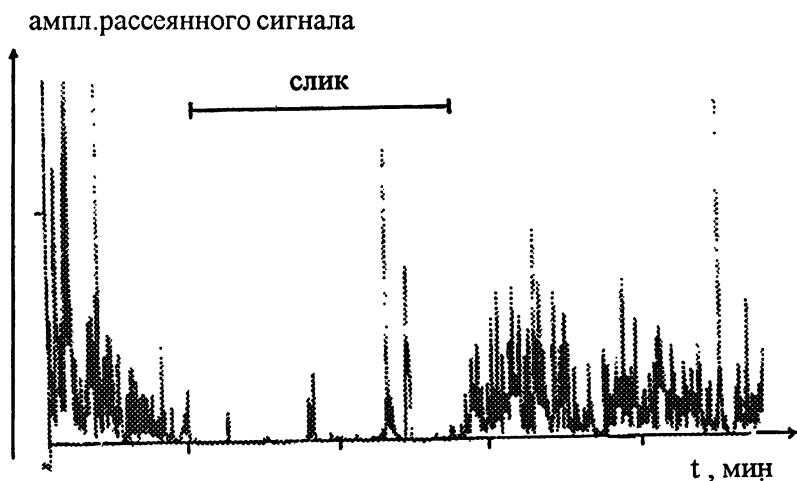


Рис.1.

При измерениях в прибрежной зоне (с платформы, расположенной на удалении около 300 м от берега) контраст ЭПР сликов, образующихся из-за сброса стоков в море, доходил до 20–30 дБ в зависимости от фонового волнения, определявшегося ветровой обстановкой

Столь же высокий контраст слика наблюдался и в эксперименте с искусственными сликами. В частности, для слика, образовавшегося из-за тонкой пленки растительного масла на поверхности моря, он также превышал 20 дБ. На рис. 1 представлена запись амплитуды отраженного сигнала при прохождении слика через “пятно” антенны. Область слика отмечена чертой. Отдельные “всплески” соответствуют разрывам пленки и редким волнам с обрушениями гребня (скорость ветра около 7 м/с). Аналогичный эффект наблюдался и при использовании для образования пленки олеиновой кислоты и нефти. Характер зависимости ЭПР водной поверхности от скорости ветра позволяет надеяться, что локационный контраст сохраняется до скоростей ветра порядка 2 м/с.

ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РАДИОМЕТРОВ С МОДУЛЯЦИЕЙ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

В.В.Фалин, В.А.Николаев, Р.Л.Ермаков

*Муромский институт
Владимирского государственного университета*

Для достижения предельной чувствительности необходимо уменьшать коэффициент шума входных цепей, увеличить эффективную полосу рабочих частот, оптимизировать время измерения сигнала в периоде модуляции. Эти направления сочетаются в схеме радиометра с коммутацией гетеродина на два смесителя в преобразователе частоты [1], в одном из которых модулируется и преобразуется измеряемый сигнал, а в другом – сигнал эталона. Такая схема перспективна в микрополосковом варианте исполнения.

В предложенной схеме смесители, по существу, являются четырехполосниками с управляемым коэффициентом передачи: если имеется сигнал гетеродина, то осуществляется преобразование сигнала СВЧ в сигнал промежуточной частоты, и время прохождения сигнала с антенны на выход определяется функцией модуляции $t_a = \theta t_{m1}$, где $0,5 < \theta_1 < 1$, t_{m1} – период функции модуляции. Время измерения эталонного сигнала определяется аналогично: $t_э = \theta_2 t_{m2}$, периоды модуляции t_{m1} и t_{m2} могут быть не кратны.

Флуктуационный порог чувствительности радиометра можно определить по известной формуле:

$$\Delta T = \sqrt{(\Delta T_a)^2 + (\Delta T_э)^2}, \quad (1)$$

где ΔT_a и $\Delta T_э$ – среднеквадратические значения флуктуаций напряжений на выходах первого и второго измерительных каналов, выраженные в единицах шумовой температуры, значения которых можно найти из формулы [2]:

$$\Delta T_a = \left\{ \left[\frac{t_{M1} T_{ша}^2}{t_a 2\tau_a \Delta f} + \frac{t_{M1} T_{шэ}^2}{t_{э} 2\tau_{э} \Delta f} \right] + \frac{\Delta G^2}{G^2} \tau_0 \frac{(T_{ша} - T_{шэ})^2 (\tau_a \tau_{э} + \tau_a \tau_0 + \tau_{э} \tau_0)}{(\tau_a + \tau_{э})(\tau_a + \tau_0)(\tau_{э} + \tau_0)} + \right. \quad (2)$$

$$\left. + \frac{\Delta G^2}{G^2} \tau_0 \left[\frac{(T_{ша} \tau_{э} - T_{шэ} \tau_a)^2}{(\tau_a + \tau_{э})(\tau_a + \tau_0)(\tau_{э} + \tau_0)} \right] \right\}^{1/2},$$

где $T_{ша} = T_a + T_{шпр}$; $T_{шэ} = T_{э} + T_{шпр}$; T_a — антенная температура; $T_э$ — температура эталона; $T_{шпр}$ — шумовая температура приемника; $T_{э} = T_{э} + T_{шпр}$ — эквивалентная температура смесителя в отсутствие смещения СВЧ сигналом; $t_{э} = (1 - \theta_1) t_{M1}$, $t_{э} = (1 - \theta_2) t_{M2}$; τ_a и $\tau_э$ — времена накопления антенного и эталонного сигналов соответственно; τ_0 — время корреляции флуктуационного усиления. При нахождении $\Delta T_э$ в выражении (2) вместо $t_{M1}, T_{ша}, \tau_a, t_a, t_{э}$ подставляются $t_{M2}, T_{шэ} = T_э + T_{шпр}, \tau_э, t_э, t_{э}$ соответственно.

Поскольку на время $t_{э} = (1 - \theta) t_M$ УПЧ практически отключен, данными выражениями можно воспользоваться, если проводить расчет флуктуационного порога чувствительности относительно шумовых температур, приведенных не ко входу приемника, а ко входу УПЧ. Тогда шумовые температуры системы по антенному тракту и тракту эталонного сигнала можно найти из выражений:

$$T_{ша(УПЧ)} = T_a / L + T_{см(УПЧ)} + T_{УПЧ}, \quad (3)$$

$$T_{шэ(УПЧ)} = T_э / L + T_{см(УПЧ)} + T_{УПЧ}, \quad (4)$$

$$T_{шэ} = T_{э} + T_{УПЧ}, \quad (5)$$

где L — потери входной цепи радиометра, включая потери преобразования смесителя. Тогда $\Delta T \cong \Delta T_{УПЧ} L$.

Литература

1. А.с. 1686389. СССР, МКИ g01R29/08, g01S 13/95./ В.В.Фалин, С.П.Гинеотис, В.А.Николаев.
2. Ворсин Н.Н., Милицкий Ю.А., Шаинский В.Я., Эткин В.С. Реализация предельной чувствительности модуляционных СВЧ радиометров // Изв ВУЗов Радиофизика. — 1987. — Т.30, N8. — С. 931.

МЕТОД КОМПЕНСАЦИИ ФОНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ В ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ УСЛОВИЯХ

В.В.Фалин, Е.В.Федосеева

Муромский институт

Владимирского государственного университета

При проведении радиометрических измерений величина радиояркой температуры зондируемой области определяется по величине антенной температуры радиометрической системы, которая в соответствии с уравнением антенного сглаживания равна

$$T_A = \eta_a (1 - \beta) \bar{T}_{zn} + \eta_a \beta \bar{T}_{бок} + (1 - \eta_a) T_0, \quad (1)$$

где \bar{T}_{zn} , $\bar{T}_{бок}$ – среднее значение яркой температуры среды соответственно в области главного лепестка и в области рассеяния ДН; β – коэффициент рассеяния антенны; η_a – КПД антенны.

Согласно (1) в антенной температуре присутствует помеховая компонента, обусловленная приемом фонового излучения через область рассеяния антенны. Поэтому при проведении радиометрических измерений предусматривается операция выделения информационной компоненты выходного сигнала антенны. При этом определенные затруднения могут иметь место при проведении измерений в условиях возникновения резких, трудно отслеживаемых флуктуаций фонового излучения. В этом случае может оказаться полезным предлагаемый метод компенсации фонового излучения в радиометрических системах.

В данном методе предлагается организовать прием по дополнительному антенному каналу с ДН в области рассеяния адекватной ДН в той же области основного канала при минимально возможном приеме излучения по угловой области главного лепестка ДН антенны с последующей аппаратурной компенсацией помеховых составляющих антенной температуры [1],

$$\Delta T_A = T_{A1} - T_{A2} = \Delta \bar{T}_{zn} - \Delta \bar{T}_{бок}, \quad (2)$$

где ΔT_A — разностный сигнал системы; T_{A1} , T_{A2} — антенные температуры основного и дополнительного канала системы; $\Delta \bar{T}_{2л}$, $\Delta \bar{T}_{бок}$ — информационная и помеховая составляющая разностного сигнала системы. Таким образом, выходной сигнал системы пропорционален радиояркостной температуре зондируемой области с точностью до $\Delta \bar{T}_{бок}$. Основным вопросом, который необходимо решить при реализации данного метода, — получение антенного канала с требуемой ДН.

В качестве возможного варианта был рассмотрен случай реализации в раскрыве зеркала дополнительным облучателем поля с квадратичным распределением фазы вдоль радиуса раскрыва. При этом ДН может быть определена следующим образом:

$$F(\theta) = \int_0^1 (1 - R^2) J_0(kR_p R \sin(\theta)) e^{ix_0 R^2} R dR, \quad (3)$$

где x_0 — набег фазы поля на краю раскрыва; R_p — радиус раскрыва зеркала; $J_0(x)$ — функция Бесселя нулевого порядка.

При $x_0 > 1,5\pi$ наблюдается провал ДН в области главного лепестка, что является необходимым условием выделения информационной составляющей $\Delta \bar{T}_{2л}$, но одновременно с этим начинают расти боковые лепестки, что ведет к увеличению помеховой составляющей $\Delta \bar{T}_{бок}$. Численное моделирование ДН антенны по (3) радиусом $R_p = 380 \text{ мм}$ на длине волны 3.2 см при условии равной мощности на выходе обоих антенных каналов

$$\int_0^{2\pi} \frac{F_{осн}(\Omega)}{F_{осн}(0)} d\Omega = \int_0^{2\pi} \frac{F_{дон}(\Omega)}{F_{дон}(0)} d\Omega, \quad (4)$$

показало, что без принятия дополнительных мер величина $\Delta \bar{T}_{бок}$ оказывается значительной из-за общего повышения уровня ДН дополнительного канала в области рассеяния. Поэтому в системе предлагается предусмотреть разные коэффициенты передачи для основного и дополнительного канала. Тогда разностный сигнал системы будет равен

$$\Delta T_A = T_{A1} - \gamma T_{A2}, \quad (5)$$

где γ – коэффициент, равный отношению коэффициентов передачи сигналов, принятых по дополнительному и основному каналам.

Значение γ должно удовлетворять требованию адекватности приема излучения по области рассеяния обоими каналами:

$$\int_{\Omega_{\text{дл}}} \frac{F_{\text{осн}}(\Omega)}{F_{\text{осн}}(0)} d\Omega = \gamma \int_{\Omega_{\text{дл}}} \frac{F_{\text{доп}}(\Omega)}{F_{\text{доп}}(0)} d\Omega. \quad (6)$$

Для случаев создания облучателем дополнительного антенного канала квадратичного распределения фазы вдоль радиуса раскрыва с набегом фазы на краю раскрыва $\chi_0 = 2.5\pi$ и $\chi_0 = 4\pi$ значения коэффициента γ равны соответственно 0,36 и 0,252. При этом, как показали расчеты, величина погрешности компенсации помеховой компоненты антенной температуры оказывается не больше 1 дБ, а уровень приема по основному каналу на 15–25 дБ выше, чем по дополнительному.

Литература

1. Фалин В.В., Федосеева Е.В., Соловьев Л.П. Оптимальный алгоритм построения радиотеплолокационных систем // Труды Международной НТК “Радиолокация, навигация и связь”. – Воронеж, 1998. – 11с.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И ПРИМЕНЕНИЕ ЕЕ ДЛЯ СКРИНИНГА ГЕОАКТИВНЫХ ЗОН

В.П. Сырейщиков, А.В. Востоков, Э.А. Ермилов*

Научно-исследовательский радиофизический институт

**Нижегородский государственный технический университет*

В вопросах сохранения и устойчивого развития экосистем важное место занимают исследования по выявлению геоактивных зон, локальных геофизических аномалий на поверхности, оказывающих неблагоприятные воздействия на живые организмы и среду обитания в целом. В НИРФИ была разработана радиометрическая аппаратура достаточно широкого назначения, которая использовалась и для скрининга геоактивных зон. Эта аппаратура включает в себя унифицированные выходные устройства радиометров, генераторы опорной частоты для модуляционных радиометров, модуляционные устройства, источники питания, устройства сопряжения радиометров с компьютером и устройство хранения информации.

Выходные устройства имеют отличительные схемные особенности: 1) изменение усиления производится за счет глубины отрицательной обратной связи, без аттенюатора, что позволяет получить лучшее соотношение сигнал/шум; 2) в схемах синхронной фильтрации и синхронного детектирования применено разделение коммутационного управления и выходного сигнала со стороны инвертирующего входа и выхода операционного усилителя, что позволило получить усиление полезного сигнала без усиления коммутационных шумов; 3) схема управления вырабатывает импульсы длительностью меньше половины периода опорного сигнала, что позволяет создать своеобразную «мертвую зону» – $1/512$ часть периода, при этом повышается надежность и снижается чувствительность к паразитным сигналам СВЧ тракта; 4) схема интегрирования производит программное изменение постоянной интегрирования, имеет низкое выходное сопротивление с инверсией

выхода, для возможности подключения длинного кабеля.

Генераторы имеют цифровой синтезатор опорной частоты, цифровую фазовую подстройку, многоканальный выход вариационных синхронных частот, систему стробирования, эквивалентного замещения и развязок для снижения паразитных наводок, могут также иметь РС, кварцевую стабилизацию частоты, термостабилизацию, программное управление основными параметрами.

Модуляционные устройства предназначены для управления СВЧ модуляторами, могут иметь систему стробирования, эквивалентного замещения и развязок для снижения паразитных наводок и бросков по питающему току и напряжению, дистанционное управление. Источники питания предназначены для питания прецизионных измерительных устройств; могут иметь многоступенчатую стабилизацию, защиты от короткого замыкания, импульсную защиту сверху и снизу. Источники питания могут быть универсальными, работать от бортовой сети и автономных источников.

Устройство сопряжения радиометров с компьютером представляет собой контроллер для представления выходной информации с радиометрического тракта или после квадратичного детектора в графическом или цифровом виде на дисплее компьютера. Устройство может быть многоканальным, иметь синхронные тракты, тракты опорной частоты и питания с соответствующими развязками по землям и электромагнитной совместимости. Устройство хранения информации представляет собой малогабаритный преобразователь аналоговой информации для записи и воспроизведения на кассетный магнитофон для работы в сложных экспедиционных условиях или на борту. Запись или воспроизведение осуществляются в реальном времени, длительность на одну кассету до 180 минут.

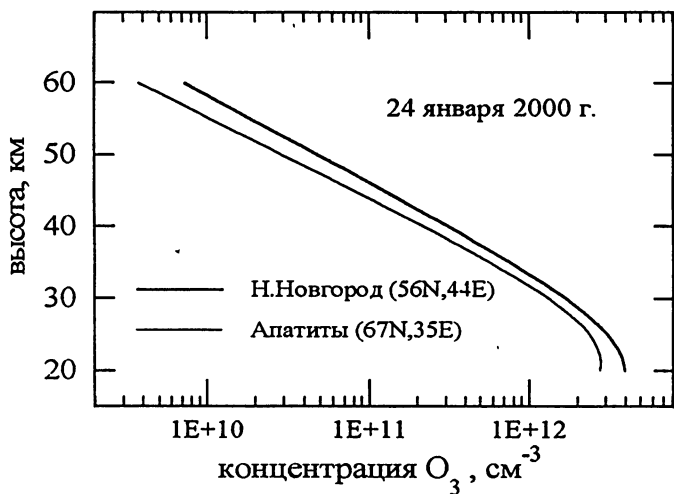
Радиометрический скрининг как метод исследования геоактивных зон позволяет получать микроволновую топографию исследуемого объекта с помощью комплекса разработанных радиометров. В процессе сканирования тестируемых участков локализуются зоны аномального распределения интенсивности теплового излучения. Полученные данные обрабатываются и сопоставляются с результатами сенсорного скрининга и медицинских, физиологических, визуальных и экологических обследований. В докладе обсуждаются полученные экспериментальные данные и дается их интерпретация.

ОДНОВРЕМЕННЫЕ МИКРОВОЛНОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ СТРАТОСФЕРНОГО ОЗОНА В АПАТИТАХ И Н.НОВГОРОДЕ ПО ПРОГРАММЕ SOLVE

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

Институт прикладной физики РАН.

В конце 1999 г. в соответствии с первым этапом международной программы SOLVE было начато микроволновое зондирование озонного слоя одновременно в двух пунктах: в Заполярье (Апатиты, 67N, 35E) и в умеренных широтах (Н.Новгород, 56N,44E). Результаты этих измерений в совокупности с другими данными будут использоваться в дальнейшем для комплексного исследования атмосферных процессов.



В качестве примера на рисунке приведены высотные распределения озона для 24 января 2000 года, полученные в указанных широтных зонах.

ОБ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ МИКРОВОЛНОВОГО ЛИМБОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ОЗОНА В СРЕДНЕЙ АТМОСФЕРЕ

Ш.Д. Китай

Научно-исследовательский радиофизический институт

Теоретические основы одного из наиболее эффективных спутниковых методов дистанционного зондирования примесных газов -- лимбового -- рассмотрены в ряде работ (см., например, [1, 2]). В докладе развита методология оптимизации условий дистанционного зондирования высотных распределений примесных компонент путем сопоставления физического подхода к решению соответствующих прямых задач и подхода, основанного на оценках информативности по Шеннону измеряемых характеристик теплового излучения атмосферы. Подобный комплексный подход к исследованиям оптимальных условий лимбового зондирования выполнен на примере озона — газа, изменения содержания которого оказывают значительное влияние на общее состояние атмосферы.

Физический подход включает изучение условий формирования атмосферного излучения для рассматриваемой схемы зондирования, оценки количественных значений яркостных температур $T_{\text{я}}$ в зависимости от прицельной высоты h_0 , контрастов яркостных температур по спектру, вариаций яркостных температур, связанных с вариациями содержания озона и других метеопараметров, в первую очередь, температуры.

Спектральные контрасты $\Delta T_{\text{я}}(h_0) = T_{\text{я}}(h_0, \nu_0) - T_{\text{я}}(h_0, \nu_0 \pm \Delta\nu)$ вблизи трех миллиметровых резонансных частот озона на прицельной высоте зондирования $h_0 = 20$ км для отстройки от резонанса $\Delta\nu = 0,005 - 0,0025 \text{ см}^{-1}$ составляют: для $1/\lambda_{ij} = 1,0024 \text{ см}^{-1}$ (линия 1) — 2,5-5К, для $1/\lambda_{ij} = 3,6971 \text{ см}^{-1}$ (линия 2) — 18,8–58 К, для $1/\lambda_{ij} = 4,7425 \text{ см}^{-1}$ (линия 3) — 1,9–23,8 К. Вариации яркостных температур атмосферы, обусловленные вариациями σ_N содержания озона,

$$\delta T_{\text{я}}^N(h_0) = |T_{\text{я}}(h_0, \text{NO}_3 + \sigma_N) - T_{\text{я}}(h_0, \text{NO}_3)|,$$

(NO_3 — модельное распределение озона по высоте) в линии 1 составляют доли градуса, в то время как в линии 2 они достигают нескольких градусов и, следовательно, являются измеримыми. Вариации температуры атмосферы σ_T также влияют на вариации

яркостных температур $\delta T_{\text{я}}^T(h_0) = T_{\text{я}}(h_0, T + \sigma_T) - T_{\text{я}}(h_0, T)$, где T — модельный высотный профиль температуры. Установлено, что вблизи резонансной линии 2 эти вариации не превышают $\sim 1-1,2$ К, поэтому вопрос о возможности использования модельных распределений температуры или о необходимости привлечения дополнительных каналов зондирования, например, в полосе молекулярного кислорода $\lambda \sim 5$ мм, решается в зависимости от предполагаемого уровня погрешностей лимбовых измерений δT_p .

Выполненный в докладе анализ физических особенностей радиоизлучения озона при лимбовой схеме зондирования показал целесообразность использования линии озона средней интенсивности, расположенной в спектральной области 110 ГГц, для определения высотных распределений этой газовой компоненты. Отметим, что учет влияния полосы приема сигнала на величину спектральных контрастов $\Delta T_{\text{я}}$, выполненный в [2], также позволил установить, что оптимальные условия лимбового зондирования озона реализуются в указанной линии.

Исследования запаса информативности в значениях яркостных температур относительно высотных профилей NO_3 при пассивном лимбовом зондировании проведены по методике [3]. Оценки информативности различных линий поглощения озона согласуются с полученными выше результатами, что подтверждает общность изложенных в докладе подходов к установлению оптимальных условий зондирования озона в микроволновом диапазоне

Литература

1. Гайкович К.П., Китай Ш.Д., Наумов А.П. // Исследование Земли из космоса. — 1994. — N 3. — С. 73.
2. Китай Ш.Д. // Изв. ВУЗов. Радиофизика. — 1999. — Т 42, N 3. — С. 235.
3. Покровский О.М. // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. — 1969. — Т. 5, N 12. — С. 1324.

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИЛЛИМЕТРОВОГО РАДАРА ДЛЯ РАДИОАКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

В.О.Рапопорт, Н.А.Митяков

Научно-исследовательский радиопизический институт

Предложенное А.Л.Фабрикантом [1] использование в системах радиоакустического зондирования атмосферы миллиметровых радаров, работающих в режиме амплитудной модуляции радиоимпульса, открывает новые возможности в исследованиях атмосферы. Однако рассмотренные в [1] схема и методика измерений далеки от оптимальных. Даже использование акустических излучателей с рекордной мощностью дает возможность проводить измерения лишь до высоты около 2 км.

В докладе предложены методы оптимизации системы, которые позволяют существенно (на 4 порядка) улучшить отношение сигнала к шуму. Если выполнены условия пространственного синхронизма для огибающей радиосигнала и звуковой волны, то величина полезного

сигнала на входе приемника составит $P_s = 2 \cdot 10^{-13}$ Вт для параметров локатора и среды, приведенных в [1] (длина волны

радиолокатора $\lambda_e = 8$ мм, ширина луча $\vartheta_e = 0.25^\circ$, импульсная мощность $P_{imp} = 250$ кВт, глубина амплитудной модуляции 100%,

средний размер капель $r_k = 8.5$ мкм, концентрация капель $N = 600$ см⁻³, дальность зондирования 2 км). В отличие от [1] в нашей оценке взяты скромные параметры акустического излучателя: один излучатель с акустической мощностью 100 Вт и длительностью

импульса 1 секунда. Мощность шума P_n при оптимизации обработки сигнала может быть существенно уменьшена по сравнению с приведенной в [1]. Дело в том, что в схеме [1] сигнал от антенны радара поступает на приемник с полосой, определяемой частотой

модуляции $\Delta f_{\text{mod}} = \Delta\omega/2\pi$, затем сигнал детектируется. Для частоты модуляции $\Delta f_{\text{mod}} = 150$ МГц и температуры входа приемника $T = 10^4$ К мощность шума составляет $P_n = 4 \cdot 10^{-11}$ Вт. Именно это заставило автора работы [1] прибегнуть к рекордной мощности акустической установки, чтобы увеличить отношение сигнал к шуму до единицы. В нашей схеме амплитудная модуляция импульса радара осуществляется за счет одновременного излучения двух сигналов, сдвинутых на частоту Δf_{mod} . Принятые сигналы пропускаются по двум каналам через фильтры с полосой $\Delta f = 1/\tau$,

где τ – длительность импульса локатора ($\Delta f \ll \Delta f_{\text{mod}}$), и перемножаются. Нестабильности частоты сигналов локатора и гетеродина в предложенной схеме компенсируются и высокие требования остаются только для стабильности частоты модуляции радиоимпульса. В процессе спектральной обработки можно получить дополнительный выигрыш за счет некогерентного накопления сигнала. Все это позволяет увеличить высоту зондирования до 10 – 15 км. В отличие от обычных систем радиоакустического зондирования атмосферы, работающих в УКВ-КВ диапазонах, малые угловые размеры диаграммы направленности миллиметрового радара практически полностью исключают потери эффективности работы системы из-за градиента температуры и ветрового сноса акустического зеркала. Показано, что для стандартных параметров миллиметрового радара и акустического излучателя предложенная система позволяет в активные (предгрозовые и грозовые) периоды проводить измерения концентрации аэрозолей, профилей температуры и ветра в атмосфере, а также исследовать турбулентные процессы. Кроме того, такая система является достаточно компактной для ее установки на подвижную платформу.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 00-02-17372).

Литература

1. Фабрикант А.Л. // Изв. ВУЗов Радиопизика. – 1991. – Т.34, N 1. – С. 12.

ВЛИЯНИЕ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ТЕПЛОВОЕ РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ АТМОСФЕРЫ В МИКРОВОЛНОВОМ ДИАПАЗОНЕ

Н.Н.Ошарина

Научно-исследовательский радиопизический институт

В последнее время проявляется интерес к зондированию профиля температуры в средней атмосфере в спин-вращательных линиях молекулярного кислорода. Распространение радиоволн в верхней стратосфере и мезосфере в резонансных линиях кислорода обладает специфическими особенностями, связанными с влиянием геомагнитного поля. И в общем случае при моделировании радиометрического эксперимента для описания радиоизлучения необходимо использовать тензорное уравнение переноса излучения в слабоанизотропной среде [1]: $dT_{\text{я}}/dl = AT_{\text{я}} + T_{\text{я}}A^* - 2AT$, где $T_{\text{я}}$ и A – матрицы когерентности соответственно яркостных температур и поглощения. Граничные условия для нисходящего и уходящего излучения имеют вид: $T_{\text{я}}\downarrow(H) = T_R \cdot I$, $T_{\text{я}}\uparrow(0) = (1-R)T_0 I + RT_{\text{я}}\downarrow(0)$, где H – верхняя граница атмосферы, R и T_0 – коэффициенты отражения и температура поверхности. I – единичная матрица. В работе [2] получены аналитические выражения для компонент матрицы когерентности яркостных температур нисходящего излучения $T_{\text{я}ii}\downarrow(h_0)$ в двух предельных случаях для наблюдения в зенит на магнитных полюсе и экваторе. В данной работе получены соответствующие соотношения для уходящего радиоизлучения. Для магнитного экватора при наблюдении в надир компоненты матрицы когерентности имеют вид:

$$T_{\text{я}11}\uparrow(h_0) = \int_{h_0}^H \gamma_1(h) T(h) \exp\left(-\int_h^{h_0} \gamma_1(h') dh'\right) dh +$$

$$+ [(1-R)T_0 + RT_{\text{я}11}\downarrow(0)] \exp\left(-\int_{h_0}^H \gamma_1(h) dh\right),$$

$$T_{\text{я}22}\uparrow(h_0) = \int_{h_0}^H \gamma_2(h) T(h) \exp\left(-\int_h^{h_0} \gamma_2(h') dh'\right) dh +$$

$$+ [(1-R)T_0 + RT_{я22} \downarrow(0)] \exp\left(-\int_{h_0}^H \gamma_2(h) dh\right) ,$$

$$T_{я12} \uparrow(h_0) = T_{я21} \uparrow(h_0) = 0 , \text{ где}$$

$$\gamma_1(h) = \gamma_{\sigma^+}(h) + \gamma_{\sigma^-}(h) + \gamma' O_2(h) + \gamma H_2O(h);$$

$$\gamma_2(h) = \gamma_{\pi}(h) + \gamma' O_2(h) + \gamma H_2O(h)$$

Здесь γ_{H_2O} – коэффициент поглощения водяного пара, $\gamma' O_2$ – коэффициент поглощения в кислороде, кроме поглощения в рассматриваемой линии, γ_{σ^+} , γ_{σ^-} и γ_{π} – коэффициенты поглощения зеемановских σ_{\pm} , π -компонент рассматриваемой линии кислорода.

Для магнитного полюса при наблюдении в надир компоненты матрицы яркостных температур имеют вид:

$$T_{я11} \uparrow(h_0) = T_{я22} \uparrow(h_0) = 1/2 \int_{h_0}^H T(h) \gamma_3(h) \exp\left(-\int_h^{h_0} \gamma_3(h') dh'\right) dh +$$

$$+ \int_{h_0}^H T(h) \gamma_4(h) \exp\left(-\int_h^{h_0} \gamma_4(h') dh'\right) dh + [(1-R)T_0 + RT_{я11} \downarrow(0)] \times$$

$$\times \left[\exp\left(-\int_{h_0}^H \gamma_3(h) dh\right) + \exp\left(-\int_{h_0}^H \gamma_4(h) dh\right) \right] + RT_{я12} \downarrow(0) \times$$

$$\times \left[\exp\left(-\int_{h_0}^H \gamma_3(h) dh\right) - \exp\left(-\int_{h_0}^H \gamma_4(h) dh\right) \right] ,$$

$$T_{я12} \uparrow(h_0) = -T_{я21} \uparrow(h_0) = 1/2 \int_{h_0}^H T(h) \gamma_3(h) \exp\left(-\int_h^{h_0} \gamma_3(h') dh'\right) dh +$$

$$+ \int_{h_0}^H T(h) \gamma_4(h) \exp\left(-\int_h^{h_0} \gamma_4(h') dh'\right) dh + [(1-R)T_0 + RT_{я11} \downarrow(0)] \times$$

$$\times \left[\exp\left(-\int_{h_0}^H \gamma_3(h) dh\right) - \exp\left(-\int_{h_0}^H \gamma_4(h) dh\right) \right] + RT_{я12} \downarrow(0) \times$$

$$\times \left\{ \exp\left(-\int_{h_0}^H \gamma_3(h)dh\right) + \exp\left(-\int_{h_0}^H \gamma_4(h)dh\right) \right\}, \text{ где}$$

$$\gamma_3(h) = 2\gamma_{\sigma+}(h) + \gamma'_{O_2}(h) + \gamma_{H_2O}(h);$$

$$\gamma_4(h) = 2\gamma_{\sigma-}(h) + \gamma'_{O_2}(h) + \gamma_{H_2O}(h) .$$

На основе полученных выражений выполнен количественный анализ влияния геомагнитного поля на спектр радиоярких температур нисходящего и уходящего излучения в микроволновом диапазоне.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант N 00-05-64527.

Литература

1. Lenoir W.B. // J.Appl. Phys. – 1967. – V.38, N 13. – P. 5283.
2. Маркина Н.Н. // Радиотехника и электроника. – 1996.– Т.41, N 2. – С.175.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АМПЛИТУДНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ ПУЧКА МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛН В ТУРБУЛЕНТНОЙ ПОГЛОЩАЮЩЕЙ АТМОСФЕРЕ

В.А. Тимофеев

Ярославский государственный университет

Перспективы использования миллиметрового диапазона волн для создания различных систем, функционирующих в приземной атмосфере, в значительной степени зависят от условий распространения. В связи с этим определенный интерес представляет информация о вариациях излучения в турбулентной среде с поглощением. В отличие от большинства работ, посвященных этой тематике, рассмотрены амплитудные флуктуации пространственно-ограниченного волнового пучка.

В рамках корреляционной теории наиболее полно статистические характеристики хаотических вариаций амплитуды (уровня \mathcal{X}) могут быть определены с помощью двухчастотной пространственно-временной корреляционной функции. Общее выражение для гауссовского пучка, полученное на основе первого приближения метода плавных возмущений в случае комплексного показателя преломления $\tilde{n}(\vec{r}, t) = n(\vec{r}, t) + im(\vec{r}, t)$, приведено в [1]. При расположении точки наблюдения на оси пучка формула для частотной корреляции имеет вид

$$\Psi(L, \omega_1, \omega_2) = \frac{2\pi^2}{c^2} \omega_1 \omega_2 \int_0^L dx \int_0^\infty \{ (G_n(\kappa) + G_m(\kappa)) \operatorname{Re}[H_1 H_2^*] + \\ + (G_n(\kappa) - G_m(\kappa)) \operatorname{Re}[H_1 H_2] - 2G_{nm}(\kappa) \operatorname{Im}[H_1 H_2] \} \kappa d\kappa,$$

где $H_j = i \exp(-iP_{j*}(L-x)\kappa^2 c / (2\omega_j \langle \tilde{n} \rangle))$, $\langle \tilde{n} \rangle = \langle n \rangle + i\langle m \rangle$;
 $P_{j*} = (\langle \tilde{n} \rangle + iP_j(x)) / (\langle \tilde{n} \rangle + iP_j(L))$; $P_j(x) = xc / (\omega_j \rho_e^2)$ – волновой параметр для соответствующей несущей (индекс $j = 1, 2$), c –

скорость света, $G_n(\kappa)$, $G_m(\kappa)$, $G_{nm}(\kappa)$ – пространственные спектры флуктуаций показателей преломления, поглощения и их взаимной корреляции.

Численный анализ статистических характеристик хаотических вариаций амплитуды был выполнен при значениях несущих, соответствующих 60 ГГц — диапазону поглощения кислорода. В качестве пространственных спектров флуктуаций была использована двухпараметрическая модель Кармана. Структурные

характеристики $C_{\alpha, jk}^2$ (индекс α соответствует показателю преломления, поглощения или их взаимной корреляции) определялись через $C_{\alpha, 1}^2, C_{\alpha, 2}^2$ для ω_1 и ω_2 с помощью соотношения $C_{\alpha, jk}^2 = \sqrt{C_{\alpha, j}^2 C_{\alpha, k}^2}$. Численные значения последних находились через структурные функции вариаций метеорологических полей температуры и влажности.

Как показал анализ выполненных расчетов, влияние вариаций поглощения на амплитудные флуктуации ММ излучения в значительной степени зависит от волнового параметра P и соотношения $\kappa_{0*} = 2\pi\sqrt{Lc/(L_0\omega)}$ между первой зоной Френеля и внешним масштабом турбулентности L_0 . В случае, когда $\kappa_{0*} < 0.2$, может иметь место возрастание дисперсии флуктуации уровня σ^2 , причем наиболее существен этот эффект для волнового пучка. Точное значение P , при котором σ^2 достигает экстремума, зависит от κ_{0*} . Так при $\kappa_{0*} = 0,028$ максимальное значение дисперсии, которое почти в 9 раз превышало σ^2 без учета флуктуаций поглощения, соответствовало $P \cong 3$. Для плоской волны за счет флуктуаций поглощения σ^2 увеличилась примерно в 3 раза. В случае, когда

$\kappa_{0*} > 0,2$, имело место подавление флуктуаций, причем минимальные значения σ^2 наблюдались для волнового пучка. Анализ частотной корреляции показал, что влияние флуктуаций поглощения наиболее существенно при малых значениях параметра κ_{0*} для волнового пучка. Минимальные значения интервала частотной корреляции имели место в случае плоской волны.

Литература

1. Тимофеев В.А. // Радиотехника и электроника. – 1999. – Т.44, N 9. – С.1049.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТ РАДИОТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОБЛАКОВ

В.Е.Дудин, В.М.Плечков

Научно-исследовательский радиофизический институт

Исследования атмосферных волн (АВ) представляют известный интерес, причем дистанционные методы исследования имеют преимущество перед приземными, при которых из-за фильтрующих свойств атмосферы выделяются более крупные по сравнению с высотой слоев масштабы волн [1].

Одним из эффективных дистанционных методов исследования АВ является метод, основанный на периодической модуляции радиотеплового излучения волновым процессом [2, 3], причем механизмы формирования вариаций этого излучения или вариаций радиояркостной температуры $\Delta T_{\text{я}}$ различны. К ним можно отнести и вариации водяного пара, и вариации, связанные с фазовыми переходами воды при вертикальных смещениях воздушных масс под действием АВ из-за разницы поглощений излучения водяным паром, водой, льдом, и изменения поглощения из-за наличия вертикального градиента температуры, и горизонтальные перемещения периодических облачных структур. Для этих механизмов имеются разные функциональные зависимости $\Delta T_{\text{я}}(\lambda)$ и параметров АВ. Возникает задача определения конкретного механизма, ответственного за формирование $\Delta T_{\text{я}}$ в данных наблюдениях. В докладе проведен анализ отношений $\Delta T_{\text{я}}(\lambda_1)/\Delta T_{\text{я}}(\lambda_2)$ и корреляционных связей водо- и влагозапаса. Показано, что для разных механизмов различны комбинации этих величин, что и позволяет решить поставленную задачу .

1. Госсард Э., Хук У. Волны в атмосфере. — М.: Мир, 1978. — 532с.
2. Кузенков А.Ф., Троицкий А.В. // Изв.АН СССР.Физика. ФАО.— 1987.— Т.23, N 5.— С. 504.
3. Александрова Т.В., Плечков В.М., Станкевич К.С. // Изв. ВУЗов Радиофизика.— 1992. — Т 35, N 3-4.— С.220.

ВРАЩАТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ВОДЯНОГО ПАРА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМАХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ

М.Б.Зиничева, А.П.Наумов

Научно-исследовательский радиофизический институт

Одна из основных проблем описания вращательного спектра поглощения водяного пара, перекрывающего обширную область от инфракрасного окна прозрачности атмосферы 10–12 мкм до сантиметровых радиоволн, состоит в расхождении теоретических и экспериментальных значений в соответствующих окнах прозрачности. В настоящее время считается, что линейная (по влажности) часть этого расхождения связана с неточным описанием поглощения в крыльях спектральных линий, на формирование которых существенное влияние оказывают соударения молекул с малыми прицельными расстояниями (так называемые «близкие» соударения) [1]. Отмеченная неточность в описании поглощающих свойств водяного пара на периферии спектральных линий присуща, хотя и в разной степени, всем широко используемым на данном этапе формам линий — Лоренца, Ван Флека–Вайскопфа, форме линии, полученной из решения кинетического уравнения.

Выводы о предпочтительности конкретных форм линий в определенных спектральных областях до сих пор делались на основании рассмотрения только характеристик молекулярного поглощения и сопоставления их теоретических значений с измеренными величинами. При этом совершенно не привлекались к рассмотрению сведения о соответствующих действительных частях ϵ — диэлектрической проницаемости водяного пара; и было не ясно, могут ли (и если могут, то в какой степени) прояснить ситуацию в обсуждаемой проблеме теоретические выражения вращательной части диэлектрической проницаемости (ВДП) для различных моделей молекулярных соударений. Цель доклада заключается в выяснении данного вопроса.

В докладе из классических выражений для ϵ с использованием перечисленных выше форм спектральных линий и принципа

соответствия получены квантовые аналоги ВДП. Выполнен анализ предельных выражений ВДП. Показано, что как длинноволновые (статические), так и высокочастотные (оптические) приближения проявляют одинаковые тенденции своего поведения по диапазону и являются весьма близкими в количественном отношении для различных форм линий в соответствующих участках спектра. Этот результат, который с первого взгляда представляется несколько неожиданным, на самом деле не противоречит соотношениям Крамерса–Кронинга в силу интегрального (по спектру) характера последних.

В резонансных областях поглощения разница в ВДП при различных формах заметно проявляется для отдельных спектральных линий (например, вблизи квантового перехода $5_{-1} - 6_{-5}$, волновое число $1/\lambda_{ij}=0,7412 \text{ см}^{-1}$). Однако в реальном спектре водяного пара эта разница существенно нивелируется крыльями других линий. В области интенсивного поглощения (переход $1_{-1} - 1_1$, $1/\lambda_{ij}=18,5645 \text{ см}^{-1}$) расхождение между значениями ВДП при различных формах линий в атмосферном спектре возрастает и достигает нескольких процентов. В подобных спектральных областях помехой для выбора адекватной формы линии на основании измерений ВДП является значительное поглощение, которое на уровне моря может принимать значения $\sim 10^3 - 10^4$ дБ/км.

Таким образом, для решения вопроса о предпочтительности той или иной формы спектральных линий водяного пара целесообразно и впредь делать акцент на характеристики поглощения радиоволн и общие физические предпосылки, так как привлечение данных о преломлении электромагнитного излучения для этих целей сопряжено со значительными трудностями.

Литература

1. Наумов А.П. – В сб.: Тр. I Всесоюзной школы-симпозиума по распространению ММ и СБММ волн в атмосфере. – М.: ИРЭ АН СССР, 1983. – С.21.

СОДЕРЖАНИЕ

Крупнов А.Ф., Паршин В.В., Третьяков М.Ю., Шанин В.Н. Аппаратура диапазона 45–200 ГГц для исследования поглощения в атмосфере в месте наблюдений	3
Крупнов А.Ф., Мясникова С.Е., Паршин В.В., Третьяков М.Ю. Применение резонаторной спектроскопии для исследования атмосферного поглощения в диапазоне 45–200 ГГц	5
Федосеев Л.И. Влияние атмосферного ослабления на работу радиогелиопеленгатора в миллиметровом диапазоне длин волн	7
Швецов А.А. Поляризационный эффект при рассеянии микроволнового атмосферного излучения на облаке из твердых частиц.....	9
Ошарин А.М., Троицкий А.В. Поляризация теплового микроволнового излучения смешанных облаков	11
Ошарин А.М., Троицкий А.В. Влияние многократного рассеяния на поляризационные характеристики теплового микроволнового излучения облачной атмосферы	14
Свердлов Б.А., Фурашов Н.И. Экспериментальное исследование отражения коротких миллиметровых радиоволн от снежного покрова	17
Бубукин И.Т., Станкевич К.С., Иванов В.П. Радиояркостная температура ряби в натуральных условиях морского волнения.....	19
Бубукин И.Т., Станкевич К.С., Иванов В.П. Суточный ход температуры в термической пленке на морской поверхности в прибрежной зоне.....	21

Лубяко Л.В. Обнаружение загрязнений на поверхности акваторий посредством радиолокации в коротковолновой части миллиметрового диапазона длин волн.....	22
Фалин В.В., Николаев В.А., Ермаков Р.Л. Оценка чувствительности радиометров с модуляцией коэффициента передачи преобразователя частоты.....	24
Фалин В.В., Федосеева Е.В. Метод компенсации фонового излучения при радиометрических измерениях в изменяющихся условиях.....	26
Сырейщиков В.П., Востоков А.В., Ермилов Э.А. Некоторые особенности радиометрической аппаратуры для прецизионных измерений и применение ее для скрининга геоактивных зон.....	29
Куликов Ю.Ю., Красильников А.А., Кукин Л.М., Рыскин В.Г., Швецов А.А. Одновременные микроволновые наблюдения стратосферного озона в Апатитах и Н.Новгороде по программе SOLVE.....	31
Китай Ш.Д. Об оптимальных условиях микроволнового лимбового зондирования озона в средней атмосфере.....	32
Рапопорт В.О., Митяков Н.А. О возможности использования миллиметрового радара для радиоакустического зондирования атмосферы.....	34
Ошарина Н.Н. Влияние геомагнитного поля на тепловое радиоизлучение атмосферы в микроволновом диапазоне.....	36
Тимофеев В.А. Статистические характеристики амплитудных флуктуаций пучка миллиметровых волн в турбулентной поглощающей атмосфере.....	39
Дудин В.Е., Плечков В.М. Исследование периодических компонент радиотеплового излучения облаков.....	42
Зиничева М.Б., Наумов А.П. Вращательная часть диэлектрической проницаемости водяного пара при различных формах спектральных линий.....	43