

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ
И ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ**

УДК 551.510.535:621,396.238

**ЗАВИСИМОСТЬ СЕЧЕНИЯ РАКУРСНОГО РАССЕЯНИЯ УКВ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ИСКУССТВЕННЫХ НЕОДНОРОДНОСТЯХ
ОТ СОСТОЯНИЯ ИОНОСФЕРЫ**

В. А. Алимов, А. В. Коровин, А. М. Насыров, В. П. Урядов, Н. Н. Яглов

Одной из важнейших характеристик мелкомасштабной искусственной ионосферной турбулентности (МИИТ) является спектр флуктуаций электронной плотности $\Phi_N(\chi_1)^*$, который определяется, как правило, на основе измерения зависимости интегрального поперечника рассеяния σ от частоты пробного излучения. Наиболее полные данные по спектру приведены в [1-4] для поперечных масштабов $l_{\perp} \geq 2$ м. Следует заметить, что исследования спектров МИИТ в [4] проводились методом ракурсного рассеяния КВ и УКВ сигналов областью возмущения (ВО), и сведения о спектрах МИИТ, полученные в [6], — это сведения об усредненных (по времени суток, сезону и т. п.) частотных зависимостях кажущихся поперечников рассеяния радиоволн ВО. Возникает вопрос о соответствии измеренных таким образом спектральных характеристик МИИТ истинным спектрам мелкомасштабной искусственной плазменной турбулентности верхней ионосферы. Измерения, выполненные в 1979—1981 гг. на опытных радиолиниях ракурсного рассеяния Казанского университета, показали, что значения σ зависят от состояния невозмущенной ионосферы: отношения частоты нагрева к критической частоте слоя $F2$ f_H/f_0F2 , вертикального масштаба неоднородной ионосферы $L_N = \left(\frac{1}{N} \frac{\partial N}{\partial z}\right)^{-1}$, высоты возмущенной области. Учет этих факторов необходим в тех случаях, когда для построения спектра Φ_N привлекаются результаты измерений σ , выполненных в различных условиях.

Исследования зависимости поперечников рассеяния σ от параметров ионосферы выполнялись преимущественно в ночное время весной, летом и осенью при рассеянии пробных волн на искусственных неоднородностях с поперечными масштабами $l_{\perp} \approx 3$ м. Воздействие на ионосферу осуществлялось мощной волной обыкновенной поляризации на частоте 5,75 МГц с помощью стэнда, расположенного в Зименках, с эффективной мощностью около 20 МВт. Для анализа использовались максимальные значения поперечников рассеяния, полученные при условии, что ВО попадает в область зеркального рассеяния, где выполняются ракурсные условия рассеяния пробных радиоволн на опытных радиолиниях. Этим исключалось влияние отклонения распространения пробных волн от зеркального относительно вектора геомагнитного поля на результаты измерений σ .

Ранее отмечалось увеличение интегрального поперечника рассеяния при приближении частоты волн накачки f_H к критической частоте слоя $F2$ (f_0F2) [5, 6] и с ростом высоты ВО h над земной поверхностью [7, 10, 11]. Однако соотношение, позволяющее учитывать его изменение в зависимости от состояния ионосферы, получено не было. По нашим данным при увеличении f_H/f_0F2 от 0,7 до 0,9 значение σ увеличивается на 5 дБ. Основной причиной этого следует считать изменение вертикального масштаба слоя L_N при приближении f_H к f_0F2 . Наблюдается также увеличение σ с ростом h . Эти изменения σ иллюстрируются рис. 1а.

Причинами изменений σ в зависимости от высоты могут служить увеличение геометрических размеров области рассеяния, интенсивности флуктуаций электронной плотности $\delta N^2 = \left(\frac{\Delta N}{N}\right)^2$ и параметра L_N . Геометрические размеры рассеивающей области увеличиваются за счет увеличения толщины возмущенной области Δh и изменения угла наклона α поверхности зеркального рассеяния к горизонту с изменением h . В интервале высот $h \approx 260 \div 300$ км угол α изменяется в пределах $7^\circ, 5'' - 10^\circ$, масштаб слоя L_N — от 50 км до 100 км. Толщина ВО оценена нами по интервалу высот, на котором σ возрастает при входе ВО в область зеркального рассеяния или

* $\chi_1 = \frac{4\pi f}{c} \sin \frac{\theta_s}{2}$, где f — частота, c — скорость распространения радиоволн, θ_s — угол рассеяния, $l_{\perp} = c/2f \sin(\theta_s/2)$.

уменьшается при выходе из нее. Этот интервал высот представляет сумму толщин ВО и области зеркального рассеяния и с точностью до определения последней, по оценкам равной 2—3 км для $l_{\perp} \approx 3$ м и $l_{\perp} \sim 1000$ м, может считаться равным толщине ВО. Зависимость последней от масштаба слоя приведена на рис. 16 (здесь точками представлены данные, полученные при рассеянии на неоднородностях с $l_{\perp} \approx 3$ м, треугольниками — при $l_{\perp} \approx 2$ м, крестиками — $l_{\perp} \approx 7$ м).

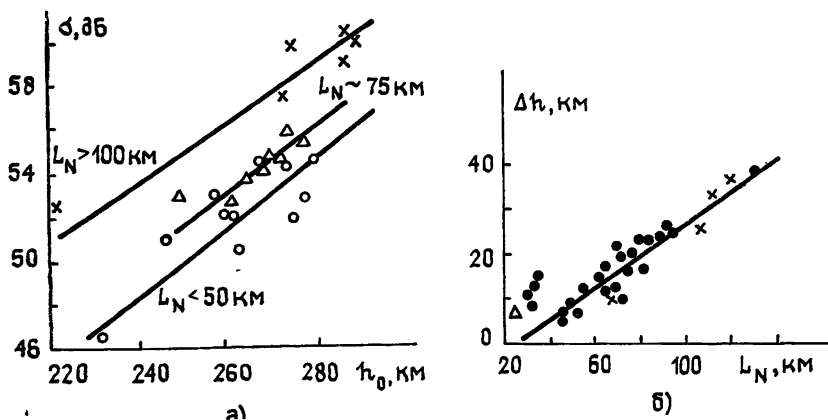


Рис. 1.

Оценка показала, что в совокупности эти факторы могут привести к увеличению сечения рассеяния на 2,4 дБ. Экспериментально измеренные значения σ в интервале высот 260—300 км увеличиваются на 6,2 дБ. Фактором, приводящим к такому увеличению σ , кроме проанализированных выше, следует считать изменение интенсивности флуктуаций δN^2 при увеличении высоты h . Вероятно, это связано с уменьшением пороговой мощности возбуждения искусственной мелкомасштабной турбулентности при увеличении L_N .

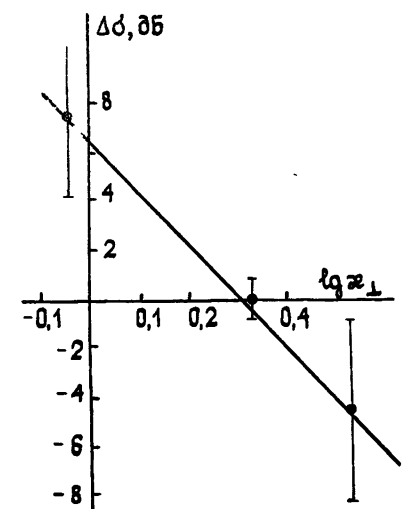


Рис. 2.

Перечисленные выше причины приводят к необходимости учета ионосферных параметров при определении спектра $\Phi_N(\kappa_{\perp})$. К ним добавляется зависимость $\Phi_N(\kappa_{\perp})$ от высоты, обусловленная влиянием рефракции пробных волн на высоту ракурсного рассеяния на неоднородностях с различными поперечными масштабами. С учетом полученных результатов в экспериментально измеренные значения σ были внесены поправки, после чего находился спектр флуктуаций электронной плотности в диапазоне масштабов $l_{\perp} = 1,9 \div 7$ м. Полученные результаты приведены на рис. 2. Экспериментальные значения поперечников рассеяния с учетом поправок на состояние ионосферы могут быть описаны зависимостью $\sigma \propto \kappa_{\perp}^{-2}$, которая отличается от зависимости, предсказываемой теорией образования МИИТ за счет развития тепловой параметрической неустойчивости [8, 9], согласно которой $\sigma \propto \kappa_{\perp}^{-3}$. Спектральная плотность флуктуаций электронной концентрации [1, 2]

$$\Phi_N(\kappa_{\perp}) \propto \kappa_{\perp} \sigma(\kappa_{\perp})$$

может быть описана зависимостью $\Phi_N(\kappa_{\perp}) \propto \kappa_{\perp}^{-1}$.

Результаты анализа представленных нами экспериментальных данных показывают, что для получения необходимой информации об истинном спектре мелкомасштабной искусственной турбулентности верхней ионосферы поперек геомагнитного поля необходимы одновременные сравнительно быстрые (за время стационарности исследуемого процесса рассеяния волн ВО [12]) наблюдения в диапазоне частот с применением синхронного наклонного зондирования в территориально разнесенных пунктах, в которых выполнены условия оптимального приема ракурсно-рассеянных сигналов для различных частот принимаемого излучения. Вместе с тем, учитывая указанную выше сложную зависимость кажущегося поперечника рассеяния волн ВО от пространственно-временных вариаций ионосферных параметров, условий распространения радиоволн и характеристик нагревного устройства, можно утверждать, что использование усредненных частотных зависимостей σ для определения $\Phi_N(\kappa_{\perp})$, как правило, будет при-

водить к неверному результату. В этой связи спектр МИИТ, полученный в [1] путем измерения величин σ в двух диапазонах частот ($f=20\div 80$ МГц и $f=157\div 432$ МГц) в совершенно различных ионосферных условиях, вряд ли может быть предметом обсуждения при сравнении экспериментальных данных с существующими теоретическими представлениями о происхождении МИИТ при нагреве ионосферы мощным КВ радиоизлучением [9].

В заключение авторы благодарят С. А. Метелева и В. Л. Фролова за предоставление части экспериментальных данных, используемых для анализа в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rao P. V., Thome J. D. — Radio Sci., 1974, 9, № 11, p. 987.
2. Ерухимов Л. М., Метелев С. А. и др. — В сб.: Тепловые нелинейные явления в плазме. — Горький: ИПФ АН СССР, 1979, с. 7.
3. Фролов В. Л. Диссертация. Горький, НИРФИ, 1979.
4. Ерухимов Л. М., Митяков Н. А. и др. Тезисы докладов на XIII Всесоюзной конференции по распространению радиоволн. Ч. I. — М.: Наука, 1981, с. 132.
5. Minkoff L., Kugeltran P., Weissman I. — Radio Sci., 1974, 9, № 11, p. 941.
6. Алебастров В. А., Бенедиктов Е. А. и др. Препринт НИРФИ № 173. — Горький, 1983.
7. Fialer P. A. — Radio Sci., 1974, 9, № 11, p. 923.
8. Васьков В. В., Гуревич А. В. — В сб.: Тепловые нелинейные явления в плазме. — Горький: ИПФ АН СССР, 1979, с. 81.
9. Грач С. М., Митяков Н. А. и др. — В сб.: Тепловые нелинейные явления в плазме. — Горький: ИПФ АН СССР, 1979, с. 46.
10. Barry J. H. — Radio Sci., 1974, 9, № 11, p. 1025.
11. Carpenter J. B. — Radio Sci., 1974, 9, № 11, p. 965.
12. Денисов Н. Г. — Изв. вузов — Радиофизика, 1958, 1, № 5—6, с. 41.
13. Коровин А. В., Метелев С. А. и др. — В сб.: Влияние мощного радиоизлучения на ионосферу. — Апатиты, 1979, с. 5.
14. Калитенков Н. В., Лукосяк Ю. Н. и др. — В сб.: Исследования ионосферы и магнитосферы методами активного воздействия. — Апатиты, 1977, с. 55.

Казанский государственный
университет

Поступила в редакцию
6 марта 1985 г.

УДК 523.164.3:523.42

РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ ВЕНЕРЫ С УЧЕТОМ МАЛЫХ ГАЗОВЫХ ПРИМЕСЕЙ АТМОСФЕРЫ*

М. Б. Зиничева, Н. Н. Маркина, А. П. Наумов

Интерпретация спектра теплового радиоизлучения Венеры выполнена в ряде статей и монографий, из которых мы процитируем [1—5]. При этом обычно рассматривалось влияние на уходящее радиоизлучение планеты только основных газовых компонент (CO_2 , N_2) с примесью небольших количеств водяного пара и (иногда) аммиака [7, 8], что оправдано для решения широкого класса задач по изучению распространения радиоволн и условий формирования излучения в атмосфере Венеры. В [9] проанализировано влияние SO_2 на радиоизлучение планеты в сантиметровом диапазоне и вблизи длины волны $\lambda \sim 3,4$ мм. Кроме перечисленных примесных газов в атмосфере Венеры наблюдались при космическом зондировании O_2 , CO , а методами наземной спектроскопии — те же компоненты, а также HCl , HF [10]. Обзор результатов по содержанию O_2 на Венере выполнен в недавно опубликованной работе [11]. На данном этапе особый интерес представляет учет в теоретических расчетах спектров радиоизлучения планеты впервые измеренных АМС «Венера-13, -14» содержаний малых примесей COS , H_2S [12]. Подобные теоретические исследования могут стимулировать проведение радиофизических наблюдений Венеры на резонансных частотах указанных компонент с целью уточнения характеристик распространения радиоволн и атмосферной модели планеты. Уточнение концентраций серосодержащих примесей на Венере важно также для понимания природы венерианских облаков и физических процессов, происходящих в них.

Кратко о молекулах COS и H_2S : COS — линейная молекула, вращательный спектр ее, расположенный в СВЧ диапазоне, почти эквидистантен, дипольный момент

* Результаты данной работы частично были доложены на XVI Всесоюзной конференции по радиоастрономическим исследованиям Солнечной системы, г. Звенигород, 1984 г. [6].