

УДК 551.510.535

ДИФФУЗНОЕ РАСПЛЫВАНИЕ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ИОНОСФЕРЫ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Н. Д. Филипп

Приводятся экспериментальные результаты по исследованию распада анизотропных неоднородностей ионосферы, направленных вдоль геомагнитного поля. При $h > 95$ км диффузия магнитно-ориентированных неоднородностей становится электронно-управляемой и распад значительно замедляется. Как время жизни неоднородности, так и среднее число радиоотражений от них в этом случае увеличивается. Эксперименты по наклонному рассеянию радиоволн от магнитно-направленных неоднородностей на среднеширотной трассе протяженностью 1330 км при частоте 74 МГц подтвердили теоретические прогнозы.

На средних широтах обнаружено существование сильно анизотропных неоднородностей электронной концентрации ионосферы, направленных вдоль магнитного поля Земли [1-4]. Сигналы, обусловленные рассеянием магнитно-ориентированными неоднородностями (МОН) слоя E ионосферы на средних широтах, принято называть H_E -сигналами [1, 2].

Эксперименты показывают [3], что большинство сигналов H_E -рассеяния можно разделить на два типа: вспышкообразные метеорного происхождения, продолжительностью от нескольких секунд до нескольких минут, и квазинепрерывные, подобные авроральным радиоотражениям, продолжительностью до нескольких часов.

Хотя природа МОН, ответственных за формирование вспышкообразных и квазинепрерывных H_E -сигналов, разная, эволюция их расплывания имеет много общего, так как процесс диффузии управляется в большой степени действием магнитного поля Земли.

Кайзер [5] доказал, что при $\theta < \theta_c$ (где θ — угол между осью неоднородности и направлением магнитного поля, а θ_c — критический угол, определяемый соотношением $\text{tg}^2 \theta_c = (D_{Ti} - D_{Te}) / (D_e - D_i)$, для которого пространственный заряд с сопровождающим его электрическим полем исчезает) на высотах больше 95 км коэффициент трансверсальной диффузии $D_T \approx 2 D_{Te}$ — величина, меньшая коэффициента диффузии в изотропной среде D . Трансверсальная диффузия в данном случае становится электронно-управляемой и сильно замедляется магнитным полем.

Продолжительность сигнала H_E -рассеяния τ_H определяется выражением $\tau_H = \lambda^2 \sec^2 \Phi / 64 \pi^2 D_{Te}$, в то время как при отсутствии действия магнитного поля $\tau_m = \lambda^2 \sec^2 \Phi / 32 \pi^2 D$. Отношение $\tau_H / \tau_m = D / 2 D_{Te}$ характеризует относительное увеличение продолжительности H_E -сигналов.

Используя выражения $D_{Te} = D_e / (1 + \omega_e^2 / \gamma_e^2)$ и $D_{Ti} = D_i / (1 + \beta^2 \omega_e^2 / \gamma_e^2)$, можно определить соотношения τ_H / τ_m . Результаты расчетов при различных высотах приведены в табл. 1.

Таблица 1

$h, км$	75	81	83,5	88	93	97,5	102	108	114
τ_H/τ_M	1	1	1	1	1	2	8	50	195

Поскольку метеоры обладают конечной скоростью передвижения, часть следов, особенно на высотах более 100 км, успевает рассеяться, прежде чем образуется полная зона Френеля: $2l_0 = 2[\lambda R_T R_R / (R_T + R_R) (1 - \cos^2 \beta \sin^2 \Phi)]^{1/2}$. В результате эффективная длина области рассеяния $l_{\text{э}}$, в зависимости от длины волны и высоты следа, может быть гораздо меньше, чем l_0 , и тогда амплитуда отраженного сигнала будет меньше амплитуды, предсказанной простой теорией Ловелла и Клегга [6]. Поскольку число отражений приблизительно пропорционально амплитуде [7], то для часового числа получается соответствующее понижение, когда $l_{\text{э}} < l_0$.

Уменьшение коэффициента амбиполярной диффузии поперек магнитного поля может нейтрализовать «эффекты конечной скорости», увеличивая как длительность и амплитуду отраженных сигналов, так и часовое число отражений. В табл. 2 приведены результаты расчетов постоянной времени распада метеорных следов τ_M и τ_H на различных высотах при $\theta > \theta_c$ и $\theta < \theta_c$. Здесь же представлены эффективные длины рассеяния $l_{\text{э.м}} = V_M \tau_M$ и $l_{\text{э.н}} = V_M \tau_H$ (при $V_M = 40$ км/с) и отношения значений $l_0/l_{\text{э.м}}$ и $l_0/l_{\text{э.н}}$, характеризующие, во сколько раз амплитуда отраженного сигнала меньше предсказанной теорией при изотропной диффузии.

Таблица 2

$$f = 74 \text{ МГц}, \quad \lambda = 4,06 \text{ м}, \quad R_T = R_R = 700 \text{ км}, \quad l_0 = 1183 \text{ м}$$

$h, км$	$\tau_M, с$	$l_{\text{э.м}}, м$	$\frac{l_0}{l_{\text{э.м}}}$	$\tau_H, с$	$l_{\text{э.н}}, м$	$\frac{l_0}{l_{\text{э.н}}}$
75	2,3	$92 \cdot 10^3$	0,013	2,3	$92 \cdot 10^3$	0,013
81	1,0	$40 \cdot 10^3$	0,03	1,0	$40 \cdot 10^3$	0,03
83,5	0,51	$20 \cdot 10^3$	0,057	0,51	$20 \cdot 10^3$	0,057
88	0,26	$10 \cdot 10^3$	0,114	0,26	$10 \cdot 10^3$	0,114
93	0,1	$4 \cdot 10^3$	0,3	0,1	$4 \cdot 10^3$	0,3
97,5	$4,5 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^3$	0,66	0,09	$3,6 \cdot 10^3$	0,33
102	$2 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^2$	1,5	0,17	$6,8 \cdot 10^3$	0,17
108	$7 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^2$	4,3	0,36	$14 \cdot 10^3$	0,084
114	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$1,28 \cdot 10^2$	9,3	0,63	$25 \cdot 10^3$	0,047

В целях выявления увеличения численности N_H и длительности τ_H вспышкообразных H_E -сигналов, по сравнению с аналогичными величинами обычных метеорных радиотражений, нами было построено дифференциальное распределение радиовспышек по длительностям, полученным на среднеширотной трассе (рис. 1) при частоте радиоволны 74 МГц. На этой трассе зона H_E -рассеяния и активная область метеорных отражений частично перекрываются. Это видно из рис. 2, где пока-

заны зоны активности магнитно-ориентированных неоднородностей и метеорных ионизаций в проекции на опорную плоскость, рассчитанные для высот 90 км и 105 км.

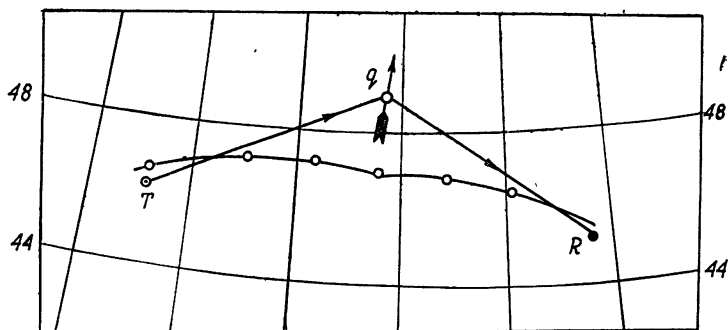


Рис. 1.

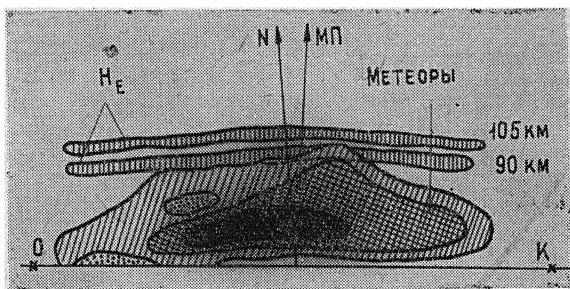


Рис. 2.

Совокупность дискретных сигналов, принятых на этой трассе, состоящая из $N = 37260$ вспышек, была разделена на две выборки: одна $N_1 = 31598$, состоящая из радиоотражений, длительность которых $\tau \leq 2$ с, и $N_2 = 5662$, длительность которых $\tau \geq 2$ с. Этим самым мы отделили основную долю метеорных радиоотражений (N_1) от выборки N_2 , состоящей в основном из H_E -сигналов. Были построены экспериментальные гистограммы распределения только для выборки N_2 и части выборки N_1 , длительность сигналов которых $\tau \geq 1$ с. Остальные гистограммы для N_1 (при $\tau < 1$ с) были найдены с помощью теоретического интегрального закона распределения по длительности $F(\tau) = \exp(-\tau/\tau^*)$, в которой τ^* определяется из условия совпадения $F(\tau)$ при $\tau \leq 1$ с с процентным вкладом экспериментальных метеорных радиоотражений, для которых $\tau \leq 1$ с. Полученные результаты представлены на рис. 3. Такое распределение дает возможность, во-первых, отделить по длительности и численности основную долю H_E -сигналов от обычных метеорных радиоотражений на тех трассах, на которых частично перекрывается активная область H_E -рассеяния с областью метеорных радиоотражений и принимаются смешанные сигналы; во-вторых, можно произвести раздельную оценку процентного вклада H_E -сигналов и метеорных радиоотражений в общую численность и общую длительность; в-третьих, что очень важно, выявляется значительное увеличение численности и длительности H_E -сигналов по сравнению с обычными метеорными вспышками, что свидетельствует об уменьшении поперечного

коэффициента амбиполярной диффузии магнитно-направленных неоднородностей и нейтрализации «эффектов конечной скорости» вхождения метеоров.

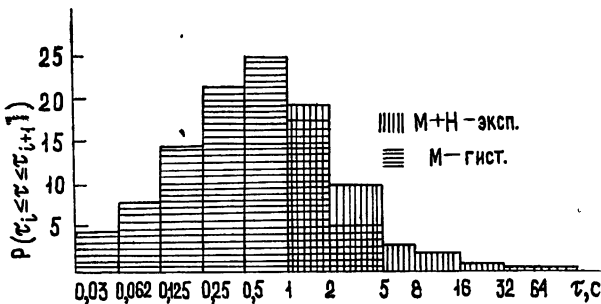


Рис. 3.

По спаду дифференциальной кривой распределения выборки метеорных сигналов N_1 можно определить, что в выборке N_2 попало около 5% метеорных радиоотражений, составляющих около 1500 отражений с длительностью $\tau > 2$ с. Так как выборка N_2 состоит из 5662 вспышек, то следует вывод о том, что рост эффективной длины зоны рассеяния за счет уменьшения поперечной диффузии МОН привел к увеличению числа вспышек H_E -рассеяния в 3—4 раза. Это согласуется с теоретическими прогнозами (табл. 2), так как на данной трассе в области высот от 100 до 114 км имеем $1 \leq t_0/l_{z, м} \leq 9,3$.

В экспериментах на 74 МГц средняя длительность выборки метеорных отражений N_1 составляет $\tau_{м, ср} = 0,65$ с, в то время как в выборке N_2 H_E -сигналов $\tau_{H ср} = 6,4$ с, т. е. на порядок больше, что соответствует теоретическим прогнозам при $h = 108$ км (табл. 2). При этом процентный вклад H_E -сигналов в общую длительность преобладает. Так, если из общей численности $N = 37260$ метеорных отражения составляют 87% ($N_1 = 32495$), а H_E -вспышки — 13% ($N_2 = 4765$), то их процентный вклад в общую длительность, соответственно, составляет 38 и 62%.

ЛИТЕРАТУРА

1. J. L. Heritage and oth., J. Geophys. Res., **64**, № 9, 1235 (1959).
2. Н. Д. Филипп, Рассеяние радиоволн анизотропной ионосферой, изд. Штинца, Кишинев, 1974.
3. Н. Д. Филипп, Изв. высш. уч. зав. — Радиофизика, **17**, № 12, 1788 (1974).
4. К. Д. Виткинс, в сб. Распределение электронов в верхней атмосфере, изд. Мир, М., 1969, стр. 192.
5. T. R. Kaiser and oth., J. Planet. and Space Sci., **17**, 519 (1969).
6. A. C. Lovell and J. A. Clegu, Proc. Phys. Soc., **60**, 491 (1948).
7. C. D. Watkins, Nature, Lond., **206**, 1027 (1965).

Бельцкий государственный педагогический институт

Поступила в редакцию
22 декабря 1975 г.

DIFFUSE SPREAD OF IONOSPHERIC IRREGULARITIES IN THE GEOMAGNETIC FIELD

N. D. Filipp

Experimental results on investigation of the decay of anisotropic ionospheric irregularities oriented along the geomagnetic field are presented. At $h > 95$ km the diffusion of magneto-oriented irregularities becomes to be electron-controlled and the decay is considerably delayed. In this case both the lifetime of irregularities and the average number of radio reflections from them are increased. Experiments on oblique scattering of radio waves from the magneto-directed irregularities on the middle-latitude path 1330 km long at the frequency of 74 MHz supported theoretical predictions.