

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ
И ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ**

УДК 550 383. 551 594.6

**ВОЗБУЖДЕНИЕ УЛЬТРАНИЗКОЧАСТОТНЫХ ГИБРИДНЫХ ВОЛН
ПРОДОЛЬНЫМ ТОКОМ**

В. Г. Мордовская, В. М. Чмырев

В данном сообщении рассматривается возбуждение ультранизкочастотных ($\omega \ll \omega_{Bi}$) гибридных волн за счет относительного движения электронов и ионов вдоль магнитного поля в горячей плазме. Когда отношение плазменного давления к давлению магнитного поля не слишком мало ($\cos^2 \theta \lesssim 4\pi nT_i/B_0^2 \ll 1$), в плазме возникает ветвь колебаний [1]

$$\omega^2 = k_{\parallel}^2 v_A^2 (1 + k^2 v_s^2/\omega_{Bi}^2), \tag{1}$$

которая в длинноволновом пределе переходит в альфвеновские волны, а при $k^2 v_s^2/\omega_{Bi}^2 \gg 1$ описывает гибридные УНЧ волны [2]:

$$\omega = k k_{\parallel} v_s v_A/\omega_{Bi}. \tag{2}$$

Соотношение (1) вытекает из дисперсионного уравнения для электромагнитных волн [2]

$$(\epsilon_{11} \sin \theta + 2\epsilon_{13} \cos \theta) \sin \theta + \epsilon_{33} (\cos^2 \theta - \epsilon_{11} \omega^2/c^2 k^2) = 0 \tag{3}$$

при квазиперечном распространении относительно внешнего магнитного поля B_0 при выполнении следующих условий:

$$k_{\parallel}^2 v_{Ti}^2 \ll \omega^2 \ll \omega_{Bi}^2, \quad k^2 v_{Ti}^2/\omega_{Bi}^2 \ll 1, \quad \cos^2 \theta \ll k_{\parallel}^2 v_A^2/\omega_{Bi}^2 \ll 1.$$

Здесь ω_{Bi} — гирослота ионов; v_{Ti} , v_{Te} — тепловые скорости ионов, электронов, v_s , v_A — звуковая и альфвеновская скорости, k — волновой вектор, θ — угол между k и B_0 , ϵ_{ij} — компоненты тензора диэлектрической проницаемости.

Выражение для инкремента γ и пороговой скорости дрейфа электронов v_d^* найдем с помощью уравнения (3), используя компоненты тензора ϵ_{ij} для максвелловской плазмы с током:

$$\gamma = \sqrt{\pi} \omega (v_{\perp} - v_d^*)/v_{Te}, \quad v_d^* = \frac{\omega}{k_{\parallel}} \left[1 + \left(\frac{T_e}{T_i} \right)^{3/2} \left(\frac{m_i}{m_e} \right)^{1/2} \exp \left\{ -\frac{\omega^2}{k_{\parallel}^2 v_{Ti}^2} \right\} \right],$$

где ω определяется соотношением (1) или (2). Легко показать, что v_d^* имеет минимум при $\omega^2/k_{\parallel}^2 v_{Ti}^2 \approx \ln[(T_e/T_i)^{3/2} (m_i/m_e)^{1/2}]$, равном примерно 4—7 при $T_e/T_i = 1 \div 10$. При этом минимальная пороговая скорость составляет $v_{d \text{ мин}}^*/v_{Ti} \approx 3,9 \div 5,1$. Для рассматриваемых волн $\omega/k_{\parallel} \geq v_A$, поэтому продольным током они легче всего раскачиваются в горячей плазме с малой альфвеновской скоростью ($v_A < v_{Te}$), что примерно соответствует условиям во внешней магнитосфере. Численная оценка при $n=5 \text{ см}^{-3}$, $T=40 \text{ эВ}$, $B_0=8 \cdot 10^{-4} \text{ Гс}$, $T_e/T_i=1$ для длинных волн $kv_s/\omega_{Bi} < 1$ дает $v_d^* \approx 7,7 \cdot 10^5 \text{ м/с} \approx 0,28 v_{Te}$, а инкремент $\gamma/\omega \approx 0,1$ при $v_d \approx 1,2 v_d^*$.

Из вида дисперсионных соотношений (1), (2) можно ожидать, что данная ветвь колебаний при учете нелинейности формирует стационарные нелинейные волны. Расчеты, выполненные в работе [3], показали, что действительно в области ультранизких частот при квазиперечном распространении существуют решения гидродинамических уравнений в виде стационарных периодических волн и солитонов «разрежения», описывающих связанные возмущения плотности плазмы, электрического и магнитного полей, которые соответствуют в линейном приближении гибридным волнам (2). В силу сказанного приведенные здесь результаты могут представить интерес с точки зрения механизмов формирования квазипериодических пучков колебаний или иррегулярных вспышек геомагнитных пульсаций в магнитосфере.

Авторы выражают признательность В. М. Костину за полезные обсуждения результатов и замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ломинадзе Д. Г. Циклотронные волны в плазме. — Тбилиси: Мецниереба, 1975, с 52
2. Ломинадзе Д. Г., Степанов К. Н. — Ядерный синтез, 1964, 4, с 281.
3. Чмырев В. М. — Изв вузов — Радиофизика (в печати).

Институт земного магнетизма, ионосферы
и распространения радиоволн АН СССР

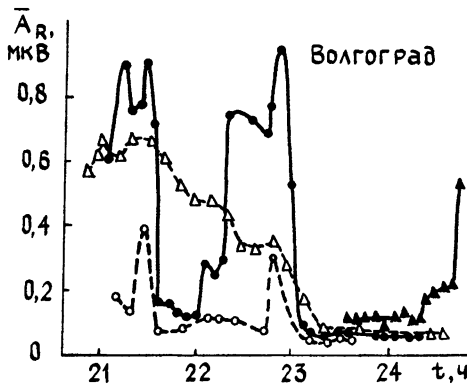
Поступила в редакцию
14 декабря 1983 г.

УДК 551 510 535 621.396.238

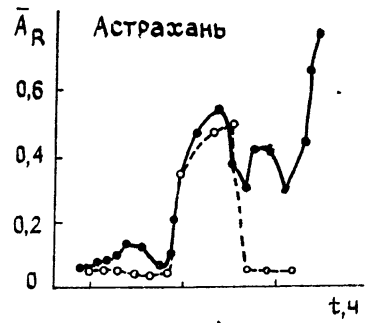
О ВЛИЯНИИ МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ЕСТЕСТВЕННЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ВЕРХНЕЙ ИОНОСФЕРЫ НА РАЗВИТИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕУСТОЙЧИВОСТЕЙ

А. В. Коровин

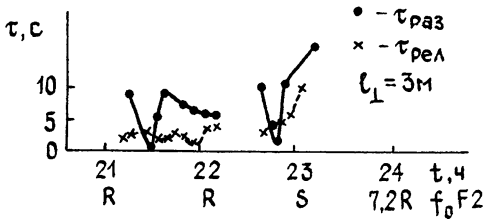
Известно [1, 2], что в слое $F2$ среднеширотной ионосферы иногда появляются локальные образования размерами 30—100 км, содержащие мелкомасштабные естественные неоднородности (МЕН) с поперечными относительно геомагнитного поля размерами $l_{\perp} < 100$ м. Представляет интерес изучение их влияния на развитие искусственных неоднородностей при облучении ионосферы мощной КВ радиоволной. В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния МЕН на характеристики искусственных неоднородностей с l_{\perp} , равными 3 и 7 м, выполненных на радиолиниях Ростов — Астрахань и Ростов — Волгоград при ориентации антенн на область $F2$ ионосферы над Горьким.



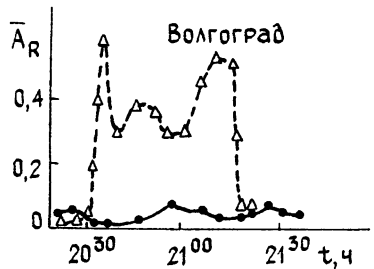
а)



а)



б)



б)

Рис. 1.

Рис. 2.

На рис. 1 и 2 приведены изменения уровней сигналов, рассеянных на естественных (светлые кружки для $l_{\perp} \sim 3$ м и треугольники для $l_{\perp} \sim 7$ м) и искусственных (темные значки) неоднородностях. Рассеяние на МЕН регистрировалось в паузах между включениями волны накачки (ВН) и имело место в 19 сеансах наблюдений