

МОДУЛЯЦИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ВОЛН В МАГНИТОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЕ ЗЕМЛИ

О.А.Молчанов, А.Е.Резников

Экспериментально исследована модуляция ОНЧ волн в магнитосфере Земли. Определена зависимость периода и глубины модуляции от расстояния до магнитосопряженной ОНЧ передатчику точки. Оценена применимость различных вариантов теоретической интерпретации результатов эксперимента.

В работах [1, 2] сообщалось об обнаружении эффекта модуляции амплитуды и спектра сигналов мощного ОНЧ передатчика с характерным периодом $\tau = 0,1 + 0,3 \text{ сек}$ ($t = 15 \text{ кгц}$, $L = 2,6$). Более длинные периоды было трудно определить, ввиду того, что работа велась импуль-

сами длительностью $T = 0,4$ или $0,8$ сек. В статье [3] подтверждался указанный эффект, однако отмечалось, что есть больший период модуляции с $\tau = 0,5 + 0,7$ сек. В данной работе приводятся некоторые результаты нового эксперимента по наблюдению магнитосферных сигналов мощного ОНЧ передатчика ($L = 2,47$). В основном методика наблюдений аналогична предыдущей. Работа велась импульсами длительностью $T = 60$ сек на частотах $15,0$; $22,5$ или $29,0$ $\mu\text{ц}$ и $T = 0,5$ сек на частоте $22,5$ $\mu\text{ц}$ в вечернее и ночное время (январь 1975 г.). Регистрация проводилась на научно-исследовательском судне космической службы "Невель", дрейфовавшим через магнитосопряженный район с востока на запад в течении примерно 10 суток. Было обнаружено, как и в [2], что амплитуда сигнала с удалением от сопряженной точки спадает $\sim 1/r$.

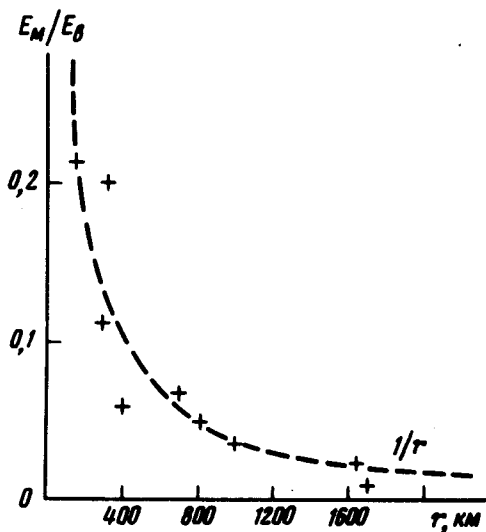


Рис. 1. Отношение амплитуд магнитосферного сигнала к волноводному в зависимости от расстояния до магнитосопряженной точки

На рис. 1 приведены амплитуды магнитосферных сигналов, нормированные к величине волновых сигналов, в зависимости от расстояния до магнитосопряженной точки для коротких импульсов $T = 0,5$ сек и $f = 22,5$ $\mu\text{ц}$. Такие импульсы легко обнаруживались, поскольку приходили позже волноводных сигналов на время $t \sim 0,4 + 0,6$ сек. Заметим, что E_M/E_0 примерно в два – три раза меньше значений в первом эксперименте.

Оказалось, что в зависимости от r меняется также период амплитудной модуляции: период τ растет от начальных значений $\sim 0,5 + 1,5$ сек до величины ~ 15 сек на больших расстояниях. Величины τ в зависимости от расстояния представлены на рис. 2. По-видимому, изменение $\tau(r)$ связано с уменьшением величин $E_M(r)$ на соответствующих магнитосферных траекториях, в свою очередь отражающих распределение интенсивности поля волны в зоне над передатчиком: $E_0(r) \sim r^{-1}$. Если так, то зависимость $\tau(r)$ сводится к зависимости $\tau(E_M^{-1})$, представляющей интерес с теоретической точки зрения. Как видно из рис. 2, $\tau_M \sim \frac{1}{f} E_M^{-\alpha}$, где $1 \lesssim \alpha < 2$. Заметим, что ориентировочные величины E_M

можно было определить по глубине модуляции длинных посылок, являющихся наложением магнитосферного сигнала на волноводный ($t \ll T$).

При этом обнаружено, что $\tau \sim E_M^{-1}$, однако достоверность определяемых таким образом величин E_M невелика из-за недостатка сведений о глубине модуляции самого магнитосферного сигнала.

Наконец, в описываемом эксперименте, в отличие от первого, наблюдалось лишь незначительное уширение спектра сигнала с преобладанием высоких частот и не удалось обнаружить триггерных излучений. Последний факт связан, по-видимому, с заметно меньшей интенсивностью магнитосферного сигнала или малым временем регистрации.

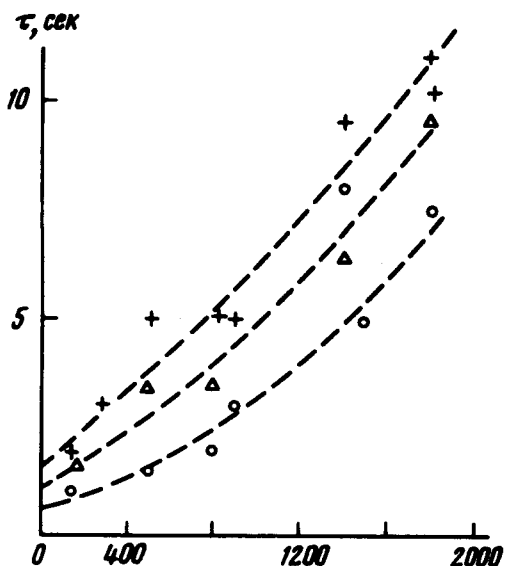


Рис. 2. Усредненные значения минимальных периодов модуляции от расстояния до магнитосферной точки: ○ — 29000 μ ; △ — 22500 μ ; × — 15000 μ

Оценим возможные варианты интерпретации эффекта модуляции амплитуды. Квазилинейный механизм приводит к характерному нелинейному инкременту процесса $\gamma_H \sim E^{1/2}$ [4,5] и периоду модуляции $\tau \sim \gamma_H^{-1}$ [4], где γ_H — линейный инкремент, максимальный в экваториальной части траектории, т. е. в области минимальных значений электронной гирочастоты $f_{He\ min}$. Как показывают теоретические расчеты для реального распределения горячих электронов в магнитосфере [6], частотная зависимость γ_H имеет максимум при $x = f/f_{He\ min} \sim 0,3$. Для нашей траектории $f_{He\ min} = 60$ кГц, так что $x \sim 0,25 + 0,5$ для используемых частот. Как видно из рис.2 квазилинейная теория, по-видимому, не согласуется с нашими данными. Также трудно объяснить указанный эффект модуляционной неустойчивостью ($\gamma_H \sim E^2$), так как инкремент ее положителен только при $x < 0,25$ или $\partial v_g / \partial \omega > 0$ (v_g — групповая скорость свистовых ОНЧ волн). Возникновение модуляции может быть связано с механизмами нелинейного гидродинамического рассеяния ОНЧ волн на ионноциклотронных волнах ($\omega \sim \omega_{Hi}$) или распадного взаимодействия ОНЧ волн с ионноциклотронной ветвью электростатических колебаний ($\omega < \omega_{Hi}$, $k_{\perp} \gg k_{\parallel}$) [7] с характерными инкрементами $\gamma_H \sim (\omega E)^{3/2}$ и $\gamma_H \sim \omega E(1-x)$ соответственно. Первый механизм имеет большой порог возбуждения и может реализоваться только на небольших высотах над мощным передатчиком. Что касается второго механизма, то решение задачи с учетом ограниченности области взаимодействия ΔS приводит к зависимости $\tau \sim (\gamma_H^{2l})^{-1} \sim \omega^{-1} E^{-2}$, где $l = \Delta S / v_g$ [8].

Авторы благодарны В.И.Карпману за полезное обсуждение результатов работы, а также В.Г.Безбородову за возможность проведения эксперимента на НИС "Невель".

Институт земного магнетизма
ионосферы и распространения радиоволн
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
18 февраля 1976 г.

Литература

- [1] Я.И.Лихтер, О.А.Молчанов, В.М.Чмырев. Письма в ЖЭТФ, 14, 475, 1971.
 - [2] Ja.I.Likhter, O.A.Molchanov et al. Space Research XIII, 689, 1973.
 - [3] T.F.Bell, R.A.Helliwell. J.Geophys. Res., 76, 8414, 1971.
 - [4] Н.И.Будько, В.И.Карпман, О.А.Похотелов. Письма в ЖЭТФ, 14, 469, 1971.
 - [5] R.N.Suden; E.Ott. J.Geophys. Res., 76, 4463, 1971.
 - [6] О.А.Молчанов, О.А.Мальцева, А.Е.Резников. Изв. высш. уч., зав., сер. Радиофизика, 1976 (в печати).
 - [7] V.Ju. Trakhtengerts. Planet Space Sci., 21, 359, 1973.
 - [8] О.А.Молчанов. Геомагнетизм и аэрономия, 15, 681, 1975.
-