

УДК 550.385.37

ГЕОФИЗИКА

А. В. ГУЛЬБЕЛЬМИ, Б. В. ДОВБНЯ, Б. И. КЛАЙН

**ВОЗБУЖДЕНИЕ ГЕОМАГНИТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ ТИПА
«СЕРПЕНТИННАЯ ЭМИССИЯ» В МЕЖПЛАНЕТНОЙ ПЛАЗМЕ**

(Представлено академиком М. А. Садовским 13 IX 1974)

В работе (1) сообщается о наблюдении в полярной шапке специфического типа геомагнитных пульсаций — так называемый серпентинной эмиссии. Отличительной особенностью серпентинной эмиссии является глубокая модуляция несущей частоты: в типичных случаях f меняется от $\sim 0,1$ гц до ~ 2 гц за время $\tau \sim 10-60$ мин. В (1) высказана гипотеза о возбуждении пульсаций в межпланетной плазме в результате циклотронной неустойчивости. В данной работе приводится косвенное доказательство внемагнитосферного происхождения серпентинной эмиссии*.

Согласно (1), частота излучения порядка

$$\omega \sim \omega_{op} \frac{U}{c} |\cos \psi| + \Omega_p, \quad (1)$$

где $\omega_{op} = (4\pi e^2 N / m_p)^{1/2}$, $\Omega_p = eB / (m_p c)$, e и m_p — заряд и масса протона, N и U — концентрация и направленная скорость межпланетной плазмы, ψ — угол между U и межпланетным магнитным полем B . Модуляцию частоты можно объяснить медленным изменением с течением времени угла ψ . (Серпентинная эмиссия наблюдается при спокойных условиях, когда вариации N , U и B весьма незначительны.)

Для проверки гипотезы мы сравнили записи серпентинной эмиссии, сделанные на обсерватории «Восток» в Антарктиде, с данными о межпланетном магнитном поле, полученными на спутнике «ИМП 3». В верхней части рис. 1 показана вариация $|\cos \psi|$, в нижней части — динамический спектр излучения, наблюдавшегося 1 X 1965 г. По вертикальной оси слева отложена частота, по горизонтальной — всемирное время. В период наблюдений $K_p = 0$, т. е. магнитосфера была исключительно спокойной. Серпентинная эмиссия имеет вид извивающейся темной полосы. Отчетливо заметно, что зависимость несущей частоты излучения от времени в общих чертах повторяет ход верхней кривой. Результат оказался в хорошем согласии с теоретическими представлениями о природе серпентинной эмиссии (см. (1)). Отсутствие детального соответствия между кривыми на рис. 1 можно объяснить недостаточным разрешением по времени спутниковых данных о межпланетном магнитном поле.

Следует отметить, что полученный результат свидетельствует лишь о внемагнитосферном происхождении серпентинной эмиссии, т. е. о возбуждении за пределами магнитопаузы. Естественно предположить, что колебания возбуждаются в межпланетной среде перед ударным фронтом вследствие анизотропии температуры протонов. Однако этот вывод все же

* Прямым подтверждением гипотезы было бы наблюдение серпентинной эмиссии непосредственно в солнечном ветре. Информация о серпентинной эмиссии, которая приведена в (1) и в данной работе, может оказаться полезной при планировании соответствующих спутниковых измерений.

предварительный. Положительная корреляция f с $|\cos \psi|$ будет и в том случае, если серпентинная эмиссия возбуждается в переходной зоне за фронтом околосветовой ударной волны.

Возможности изучения свойств серпентинной эмиссии по отрывочным данным спутниковых измерений, сделанных в прошлом, довольно ограничены. Дополнительную информацию можно получить по наземным данным путем анализа низкочастотных сигналов, сопровождающих серпентинную

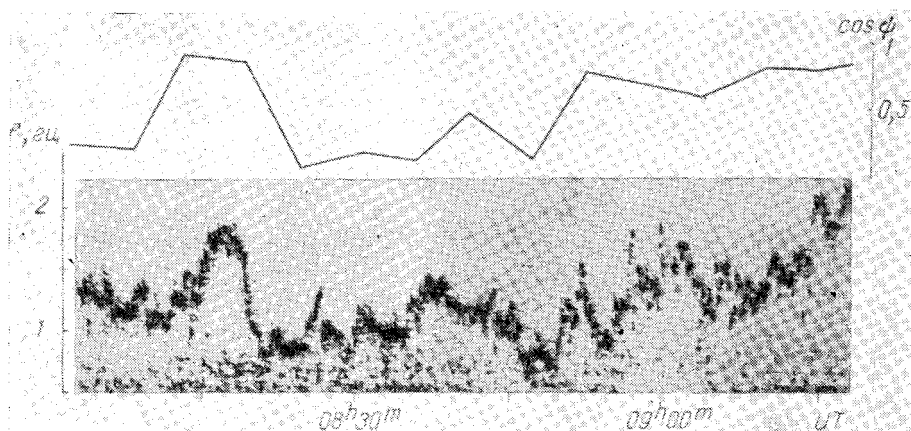


Рис. 1

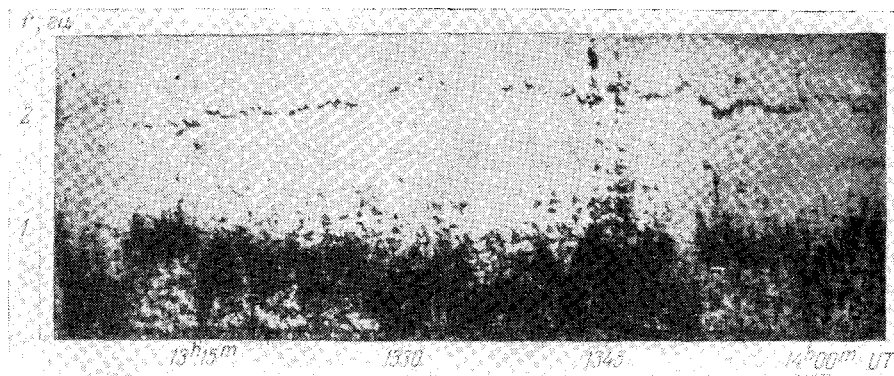


Рис. 2

эмиссию. Весьма интересный результат такого анализа представлен на рис. 2 (обсерватория «Восток», 21 VIII 1968 г.). Серпентинная эмиссия наблюдается в диапазоне 0–1 гц. На частоте ~ 2 гц замечен слабый узкополосный сигнал. О естественном происхождении сигнала свидетельствует то, что его частота антикоррелирует с частотой серпентинной эмиссии. Наиболее очевидно антикорреляция проявляется в интервалах $13^{\text{h}}15^{\text{m}}-13^{\text{h}}20^{\text{m}}$ и $13^{\text{h}}48^{\text{m}}-13^{\text{h}}56^{\text{m}}$ UT.

Магнитосфера во время наблюдений была весьма спокойной ($K_p=1$). Поэтому трудно предположить, что модулированное излучение возникает внутри магнитосферы. Из рис. 2 видно, что детали динамического спектра серпентинной эмиссии и излучения в диапазоне ~ 2 гц зеркально повторяют друг друга без заметного сдвига во времени. Относительная задержка не превышает $\Delta t \sim \pm 1$ мин. Отсюда следует вывод: при $U \sim 3 \cdot 10^7$ см/сек

области генерации излучений обоих типов разнесены одна относительно другой на расстояние, не превышающее $\delta \sim U\Delta t \sim 2 \cdot 10^9$ см. Это означает, что узкополосный сигнал на частоте ~ 2 гц возбуждается либо перед ударным фронтом, либо в переходной зоне. Второе предположение более правдоподобно. В самом деле, можно определенно указать лишь один параметр околослойной плазмы, антикоррелирующей с $|\cos \psi|$ — модуль напряженности магнитного поля за фронтом ударной волны (вниз по потоку) *.

Если допустить, что возбуждение происходит на гармониках гирочастоты протонов $\omega \approx s\Omega_p$, то в магнитном поле переходной зоны $B \sim 15\gamma$ частота ~ 2 гц соответствует номер гармоник $s \sim 10$.

Излучение на гармониках гирочастоты протонов наблюдалось неоднократно в лабораторной и в космической плазме. На ракете «Джавелин 8.46» на высоте ~ 600 км в диапазоне $\sim 1-7$ кгц было зарегистрировано две группы гармоник: $s=1-4$ и $s=5-8$ (3). Аналогичные наблюдения были сделаны на спутнике «Инджен 5» на высоте $\sim 2 \cdot 10^3$ км (4). В экваториальной окрестности плазмоспаузы гармоник $s \sim 10-15$ в диапазоне $\sim 10^2$ гц наблюдались на спутнике «ОГО 3» (5, 6). Ионно-циклотронная неустойчивость на гармониках $s=1, 2$ наблюдалась в лабораторных плазменных установках с внешней инжекцией (7). Эти факты косвенно свидетельствуют в пользу нашего предположения о возбуждении колебаний в переходной зоне на гармониках гирочастоты протонов.

В заключение рассмотрим

рис. 3, на котором показано излучение с эквидистантным спектром. Запись сделана в полярной шапке (обсерватория «Восток» 5 X 1968 г., $10^h 12^m - 10^h 41^m$ UT, $K_p=2$). Наблюдается две полосы, причем отношение средних частот $f_2/f_1 \approx 2$. Если допустить, что возбуждение происходит на первой и второй гармониках гирочастоты протонов, то магнитное поле в области генерации $B \sim 17\gamma$.

Заметим, однако, что интенсивность и ширина полосы излучения на частоте f_2 больше, чем на частоте f_1 . Это наводит на мысль, что в действительности частоты f_2 и f_1 равны первой гармонике гирочастоты протонов и α -частиц соответственно. (Напомним, что относительная концептрация

* Антикореляция $|\cos \psi|$ перед ударным фронтом (область 1) с $|B|$ за ударным фронтом (область 2) следует из условия (2) $B_{n1} = B_{n2}$, $B_{t1}N_2 = B_{t2}N_1$, $N_2 > N_1$, где B_n и B_t — нормальная и тангенциальная составляющие магнитного поля.

α -частиц в солнечном ветре $\sim 5-10\%$.) Если последнее предположение верно, то магнитное поле в области генерации составляет $B \sim 35\gamma$. Вероятно, эта область расположена в магнитопаузе.

Авторы выражают благодарность В. А. Троицкой за обсуждение результатов и Н. Ф. Нессу за любезно предоставленные данные о межпланетном магнитном поле.

Геофизическая обсерватория
Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта
Академии наук СССР
Борок Ярославской обл.

Поступило
30 VIII 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. В. Гульельми, Б. В. Довбня, Письма ЖЭТФ, т. 18, в. 10, 601 (1973). ² Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, Электродинамика сплошных сред, М., 1959. ³ D. A. Gurnett, S. R. Mosier, J. Geophys. Res., v. 74, № 16, 3979 (1969). ⁴ D. A. Gurnett, G. W. Pfeiffer et al., J. Geophys. Res., v. 74, № 19, 4631 (1969). ⁵ C. T. Russell, R. E. Hoizer, E. J. Smith, J. Geophys. Res., v. 75, 735 (1970). ⁶ A. V. Gul'elmi, B. I. Klain, A. S. Potapov, Planet. Space Sci., in press. ⁷ Ю. Т. Байбородов, М. С. Иоффе и др., ЖЭТФ, т. 53, в. 2(8), 513 (1970).