

## ОБНАРУЖЕНИЕ ВЫСЫПАНИЙ ЧАСТИЦ ИЗ ПОЯСА КОЛЬЦЕВОГО ТОКА, СТИМУЛИРОВАННЫХ МОЩНЫМ НАЗЕМНЫМ ОНЧ ИЗЛУЧАТЕЛЕМ

Р.А.Ковражкин, М.М.Могилевский, Ж.М.Боске,  
Ю.И.Гальперин, Н.В.Джорджо, Ю.В.Лисаков,  
О.А.Молчанов, А.Рэм

Обнаружены потоки высыпающихся частиц, вызванные взаимодействием низкочастотного (ОНЧ) излучения от наземного излучателя ( $L = 4,0$ ,  $f = 19,1$  кГц).

Целевой эксперимент по обнаружению стимулированных высыпаний малоэнергичных электронов из пояса кольцевого тока ( $L = 3 \div 5$ ) был проведен нами в ноябре-декабре 1981 г. Этот эксперимент осуществлялся в рамках советско-французского проекта „Аркад-3”, наблюдения волн и частиц проводились на ИСЗ „Ореол-3”<sup>1</sup>. Использовался советский наземный субавроральный ОНЧ излучатель ( $L_{\text{п}} = 4,0$ ,  $f = 19,1$  кГц)<sup>2</sup>. Излучались импульсы длительностью 8 с с периодом повторения 16 с. При разработке эксперимента мы предполагали неканализированное распространение ОНЧ волн в магнитосфере ( $\psi \neq 0$ ) и эффективную турбулизацию электронов плазмы в области поглощения ОНЧ волны ( $\omega \sim \omega_{\text{Ве}} \cos \psi$ ,  $\omega_{\text{Ве}}$  — гирочастота электронов вблизи экваториальной плоскости магнитосферы), где исходная волна свистового типа переходит в электростатическую электронную циклотронную моду<sup>3</sup>. Идея эксперимента аналогична идее циклотронного турбулентного нагрева в лабораторной плазме<sup>4</sup>. В соответствии с этим мы выбирали  $\omega \gtrsim \omega_{\text{Ве}}$ . Оценки показывают, что в этом случае наибольшей модификации подвергаются электроны с энергией  $E < 3$  кэВ.

В этой публикации мы ограничимся результатами регистрации потоков электронов и протонов с энергией  $E = 0,75 \pm 0,15$  кэВ и  $E = 1,8 \pm 0,25$  кэВ, полученных с помощью прибора „РИЭП-2802”<sup>1</sup>. Измерялись частицы с питч-углами  $40 \pm 10^\circ$ . Было проведено 17 сеансов измерений в области над ОНЧ излучателем в утренние часы. Стимулированные высыпания электронов и протонов были обнаружены в 7 сеансах. Для выделения на фоне естественных потоков частиц составляющей, связанной с работой ОНЧ передатчика и следовательно меняющейся с периодом повторения его посылок, были вычислены временные спектры интенсивности частиц. Несколько таких спектров электронов для сеанса 13 декабря 1981 г. (виток 1088, высота 1600 км,  $MLT \sim 7^h$ ,  $E = 1,8$  кэВ) приведено на рис.1. Хорошо заметен пик, соответствующий периоду 16 с, амплитуда которого изменяется от одного спектра к другому. Для сравнения здесь же приведен типичный временной спектр электронов для этой же области в периоды, когда ОНЧ излучатель не работал (пунктир). На рис.2 приведен ход интенсивности стимулированной составляющей потока электронов (с периодом 16 с) в зависимости от  $L$ -параметра наблюдений для двух витков и разных энергий. Максимум интенсивности для  $E = 1,8$  кэВ приходится на  $L_m = 2,6 \div 2,8$  (виток 1088), а для  $E = 0,75$  кэВ для  $L_m = 2,9 \div 3,0$  (виток 1193, высота 1650 км,  $MLT \sim 7^h 30'$ ). Потоки стимулированных высыпаний достигали величин  $\sim 7 \cdot 10^4$  ( $\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{кэВ}$ )<sup>-1</sup>. Если, как обычно, предполагать, что наиболее интенсивное взаимодействие ОНЧ волны с электронами происходит вблизи экваториальной плоскости магнитосферы, то значения  $E$  соответствуют резонансным энергиям электронов в апогее силовой линии с параметром  $L_m$ . По значениям  $L_m$  легко найти экваториальные значения  $\omega_{\text{Ве}}$  и величины параметра  $k = \omega / \omega_{\text{Ве}}$ . Оказывается, что в обоих случаях  $k > 0,5$  и, как хорошо известно, ОНЧ волна не может канализоваться. Заметим, что теоретические оценки<sup>5,6</sup> дают величины потоков энергичных электронов (с энергией  $E = 2 \div 40$  кэВ)  $\sim 10^7 \div 10^8$  ( $\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{кэВ}$ )<sup>-1</sup>.

В мае — ноябре 1982 года в США был проведен эксперимент, в котором использовался ИСЗ S81-1 и передатчик NAA ( $L = 3, 2$ ;  $\omega = 17, 8$  кГц)<sup>7</sup>. Потоки электронов имели характерные энергии  $E = 17 - 30$  кэВ, максимальную величину интегрального потока ( $E > 6$  кэВ)  $10^3$  ( $\text{см}^2 \cdot \text{с}$ )<sup>-1</sup> и регистрировались на широтах внутреннего радиационного пояса ( $L = 2,1 - 2,3$ ).

Для непродольного распространения необходимо учитывать возможность как циклотронного, так и черенковского резонансов. Простые расчеты с использованием различных моделей

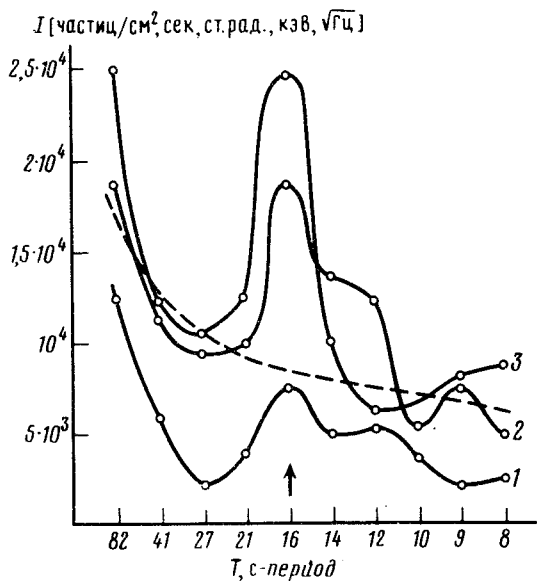


Рис.1. Временные спектры потоков электронов, зарегистрированных 13.12.81 на витке 1088 вблизи излучателя. Кривая 1 соответствует измерениям на  $L_{cp} \approx 2,72$ , 2 -  $L_{cp} \approx 2,85$ , 3 -  $L_{cp} \approx 2,95$

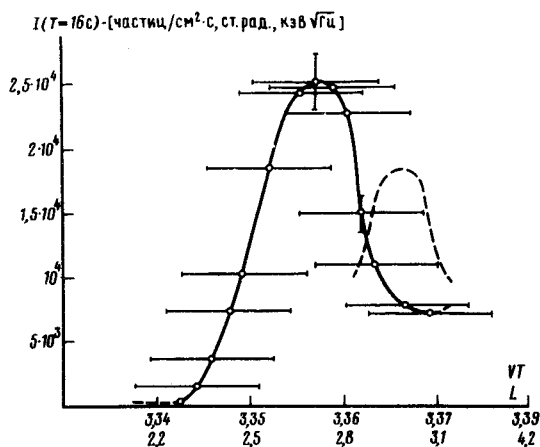


Рис.2. Ход 16-и секундной составляющей спектра в зависимости от времени и положения ИСЗ. Сплошной линией изображены результаты измерений потоков электронов 13.12.81 на витке 1088 ( $K_p = 4 -$ ). Пунктирной линией - измерения потоков электронов на витке 1193, 21.12.81

распределения электронной концентрации тепловой плазмы, в том числе и модели предложенной в <sup>7</sup>, приводят к заключению, что условия циклотронного резонанса не могут удовлетворяться для наших величин  $E$  и  $L_m$ . В то же время условиям черенковского резонанса для электронов эти величины соответствуют хорошо при дополнительном условии  $\psi \cong 25 \div 45^\circ$ . Результаты численных расчетов траекторных характеристик ОНЧ волн по методике, изложенной в <sup>8</sup>, также как и потоков частиц, мы предполагаем обсудить в следующей статье, однако следует заметить, что указанные значения  $\psi$  являются обычными для таких расчетов. При этом естественным образом объясняется смещение зоны высыпания электронов к меньшим  $L$ -оболочкам по отношению к передатчику, что отмечено как в нашем эксперименте, так и в <sup>7</sup>.

Таким образом, насколько известно авторам, впервые обнаружено искусственное высыпание низкоэнергичных электронов и протонов из пояса кольцевого тока, стимулированное мощным ОНЧ излучением. Высыпание, по-видимому, обусловлено квазилинейным взаимодействием этих частиц с непродольно распространяющейся ОНЧ волной на черенковском резонансе.

#### Литература

1. Ann. de Geoph. Special issue on the instrumentation of the ARCAD-3 Franco-Soviet project, 1982, 38, №5, 583.
2. Копытенко Ю.А., Молчанов О.А., Могилевский М.М., Бушмарин В.А., Еремеев В.Г., Иванов А.А., Лизунов В.В., Маркеева Ю.М., Щекотов А.Ю., Погребников М.М. Письма в ЖЭТФ, 1977, 25, 237.
3. Molchanov O.A., Mogilevsky M.M., Kopytenko Ju.A. Adv. Space Res., 1981, 71, 229.
4. Тимофеев А.В. Физика плазмы, 1975, 1, 88.
5. Карман В.И., Шкляр Д.Р. Геомагнетизм и аэрономия, 1976, 16, 573.
6. Inan U.S., Bell T.F., Helliwell R.A. J. Geoph. Res., 1978, 83, 3235.
7. Imhof W.L. et al. Geoph. Res. Let., 1983, 10, 361.
8. Молчанов О.А., Мальцева О.А. Геомагнетизм и аэрономия, 1982, 22, 95.