

## ИМПУЛЬСНОЕ ВЫСЫПАНИЕ ПРОТОНОВ С $E_p > 500$ МэВ ВО ВРЕМЯ МАГНИТНОЙ БУРИ С ОБОЛОЧКИ $L = 2$

А.Ф.Июдин, В.Г.Кириллов-Угрюмов, Ю.Д.Котов,  
Ю.В.Смирнов, В.Н.Юров, В.А.Шуришаков

В статье анализируются результаты обнаружения импульсных с длительностью  $\lesssim 5$  с высыпаний протонов внутреннего радиационного пояса с энергиями  $100 \div 500$  МэВ во время магнитной бури. Обсуждается связь этого явления с нестационарными процессами полуденной магнитосферы.

В полете на высотном аэростате 20 августа 1979 года гамма-телескопом "Наталия-1" были зарегистрированы периодические изменения потоков вторичных космических частиц, протонов с  $E_p > 500$  МэВ и электронов с  $E_e > 20$  МэВ. Период флуктуаций соответствовал 10,4 минутам, а амплитуда периодической компоненты  $\gtrsim 20\%$  от постоянного потока<sup>1</sup>. Эти периодические флуктуации были зарегистрированы во время магнитного возмущения и, по нашему мнению, могут объясняться взаимодействием высыпающихся частиц с полями КНЧ излучения и микропульсациями ночной магнитосферы<sup>2</sup>. Отметим, что в магнитноспокойной обстановке квазипериодические флуктуации потоков вторичных космических частиц наблюдались в работах<sup>3, 4</sup> и появление таких флуктуаций может быть связано с внутренними гравитационными волнами<sup>5</sup>.

В том же полете мы наблюдали также короткие  $\lesssim 5$  с всплески интенсивности заряженных частиц (рис. 1). Максимум частоты регистрации этих всплесков приходится на область полуденного меридиана, т. е. примерно на время от 23.00 LT до 01.30 LT (рис. 2).

Отношение интенсивности в всплеске к среднему значению меняется от  $3 \div 4$  для канала  $I_1$  до  $13 \div 14$  для канала интенсивметров  $I_3$ . Здесь каналы интенсивметров  $I_1, I_2, I_3$  и  $I_4$  соответствуют регистрации следующих частиц:  $I_1$ , электроны с  $E_e > 20$  МэВ и протоны с  $E_p > 100$  МэВ в апертуре телескопа;  $I_2$ : электроны с  $E_e > 20$  МэВ, протоны с  $E_p > 500$  МэВ в апертуре телескопа с направлением из верхней полусферы;  $I_3$ : электроны с  $E_e > 1,5$  МэВ и протоны с  $E_p > 12$  МэВ, летящие со всех направлений;  $I_4$ : счет  $\gamma$ -квантов (мастеров) за время  $\sim 2$  с после срабатывания гамма-телескопа.

Таким образом, амплитуда всплеска растет с уменьшением энергии регистрации частиц.

Амплитуды всплесков в каналах  $I_1, I_2$  и  $I_4$  в сравнении позволяют сделать вывод о типе частиц, образующих всплески в нашем случае. По всей видимости это протоны с  $E_p > 100$  и даже  $> 500$  МэВ и интенсивностью  $\sim 10^5$  частиц/м<sup>2</sup>·с во всплеске. Дополнительный поток протонов, обусловленный всплесками, усредненный за время  $\sim 2$  часов, соответствующих области максимальной частоты регистрации всплесков составляет  $60 \div 80\%$  от невозмущенного потока протонов на геомагнитной широте с обрезанием 3,5 ГВ<sup>6, 7</sup>. В самом деле вклад электронов с  $E_e > 20$  МэВ в загрузку каналов  $I_1$  и  $I_2 \sim 10\%$  и если предположить обратное, т. е. что всплеск образован электронами, то тогда должен быть всплеск в  $I_4$  ( $\gamma$ -канале) величиной  $\sim 100$  квант/с чего не наблюдалось. Отсюда мы дела-

ем вывод, что частицы, обеспечивающие всплеск интенсивности в каналах  $I1$  и  $I2$ , это протоны с энергиями  $E_p > 100$  МэВ и  $E_p > 500$  МэВ соответственно. Длительность этих всплесков и локализация их около полуночного меридиана приводит к выводу о связи всплесков с нестационарными процессами в хвосте магнитосферы. В качестве возмущающего процесса может рассматриваться процесс ускорения частиц хвоста магнитосферы до энергий  $\sim 100$  кэВ при пересоединении магнитных силовых линий во время магнитной бури. Пучки ускоренных частиц – электронов и протонов при движении во внутрь магнитосферы захватываются на замкнутые магнитные оболочки <sup>8, 9</sup>. При этом неизбежно возникают условия приводящие к генерации пакетов волн ОНЧ или КНЧ диапазона в зависимости от концентрации плазмы, магнитного поля и распределения ускоренных частиц по питч-углам. Подобные явления неоднократно регистрировались во время магнитных бурь <sup>10, 11</sup>. Пакеты волн КНЧ, если они в достаточной степени локализованы в пространстве, могут диссипироваться в процессе взаимодействия с энергичными протонами внутреннего радиационного пояса находящимися на  $L = 2$ . Таким процессом диссипации энергии волнового пакета, в частности, является процесс рассеяния энергичных частиц по питч-углам на волнах с частотами  $\omega$ , соответствующими условию циклотронного резонанса с учетом доплеровского смещения <sup>12</sup>,  $\omega - kv_{\parallel} = n \Omega_p$ , где  $\Omega_p$  – гирочастота протонов;  $n = 0, 1, 2 \dots$  – порядок резонанса;  $k$  – волновое число;  $v_{\parallel}$  – продольная составляющая скорости частицы, резонансно взаимодействующей с волной. Причем высыпаящиеся потоки протонов будут определенным образом сфазированы, образуя пакеты частиц – всплески длительностью во времени, соответствующей времени диссипации резонансных волн КНЧ или минимальному времени жизни протонов на оболочке. Пакеты волн КНЧ диапазона с размерами  $3 \div 5$  с регистрировались во время магнитных возмущений на  $L = 2 \div 4$  на спутниках <sup>13, 14</sup>.

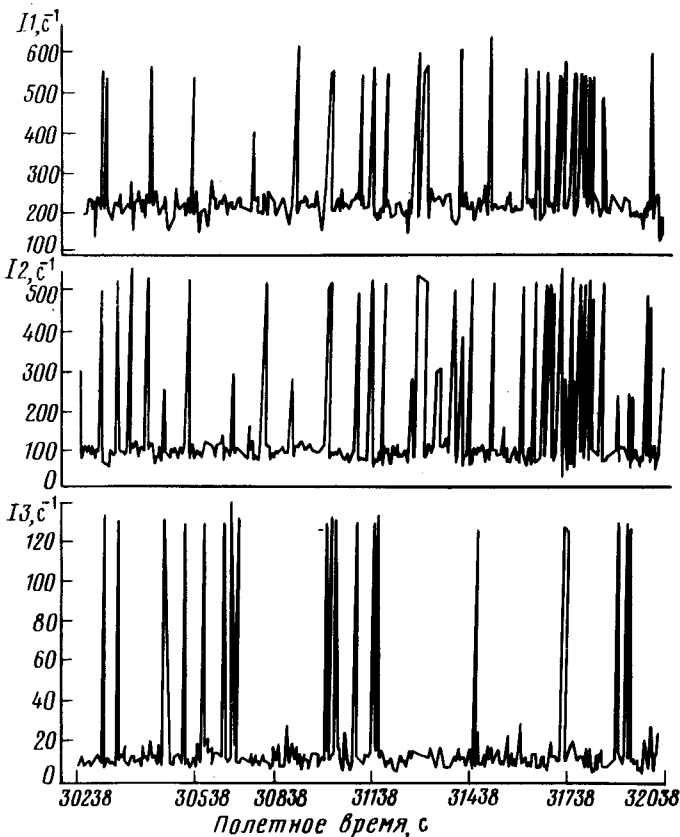


Рис.1. Всплески интенсивности в каналах интенсивметров  $I1, I2$  и  $I3$

Время диффузии протонов определяется коэффициентом диффузии  $D$ , который в свою очередь зависит от амплитуды КНЧ волны. Оценку амплитуды волн КНЧ пакета можно получить пользуясь формулой  $b = \gamma_0 D B_0 (\Omega_p F)^{-1/2}$ , где  $\gamma_0$  — лоренц фактор частиц,  $\Omega_p$  — гирочастота, а  $F$  — фактор анизотропии. Считая, что  $D$  соответствует случаю сильной диффузии получаем, что  $b$  должно быть больше  $30 \gamma$ .

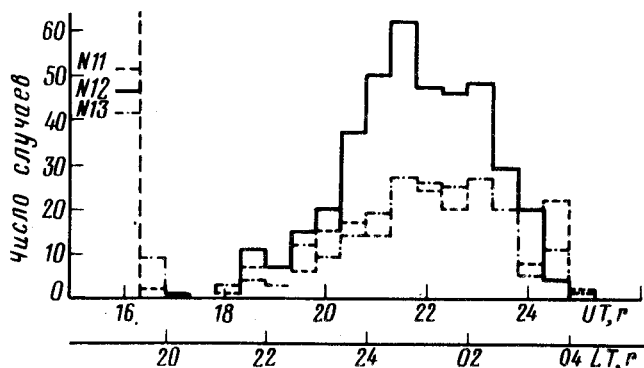


Рис.2. Распределение числа всплесков от времени (LT — местное время, UT — универсальное время) в каналах I 1, I 2 и I 3

В пределе сильной диффузии поток высypающихся частиц ( $J_{\text{выс}}$ ) примерно равен потоку захваченных ( $J_{\text{захв}}$ ), т.е.  $J_{\text{выс}}/J_{\text{захв}} \sim 1$  и если  $J_{\text{выс}}$  ( $E_p > 500 \text{ МэВ}$ )  $\cong 8 \cdot 10^4 \text{ част/м}^2 \cdot \text{с}$ , то и захваченный поток  $J_{\text{захв}}$  ( $E_p > 500 \text{ МэВ}$ )  $\sim 10^5 \text{ част/м}^2 \cdot \text{с}$ . Наши оценки неплохо согласуются со значениями потоков захваченных протонов на  $L = 2$ , полученными в измерениях, выполненных на космических аппаратах <sup>15</sup>.

При объяснении импульсного высypания протонов с  $E_p > 100 \div 500 \text{ МэВ}$  надо учитывать и возможное влияние импульсов электрического поля магнитосферы. Параллельное электрическое поле может приводить к увеличению потока высypающихся частиц на порядок при умеренной амплитуде КНЧ волн <sup>16</sup>. Импульсы электрического поля характерны для условий магнитной бури и по данным GEOS-2 <sup>17</sup> появляются с максимальной частотой в ночной полусфере. Средняя амплитуда этих всплесков  $\sim 10 \text{ мВ/м}$ . Движение плазмы, ассоциируемое с импульсами электрического поля, сопровождается также появлением ОНЧ эмиссии в частотном интервале  $0,1 \div 50 \text{ кГц}$  с нарастанием мощности к меньшим частотам и импульсами КНЧ излучения, что может обеспечить наблюдаемые потоки высypающихся частиц во всплесках.

Суммируя, можно сказать, что наши наблюдения выявили существование в магнитно-возмущенной обстановке квазипериодических высypаний электронов с энергией  $20 \text{ МэВ}$  и протонов с энергиями  $100 \div 500 \text{ МэВ}$  <sup>1</sup>, а также высypаний, носящих характер коротких всплесков, с длительностью  $\lesssim 5 \text{ с}$  оболочки с  $L = 2$ , в области полуночного меридиана. Появление всплесков связано с нестационарными процессами в хвосте магнитосферы, приводящим к резкому возрастанию интенсивности КНЧ волн.

#### Литература

1. Иудин А.Ф., Кириллов-Угрюмов В.Г., Котов Ю.Д., Смирнов Ю.В., Юров В.Н. Письма в ЖЭТФ, 1982, 35, 254.
2. Иудин А.Ф., Кириллов-Угрюмов В.Г., Котов Ю.Д. Геомагнетизм и аэрoномия, 1984, (в печати).
3. Гальпер А.М., Грачев В.М., Дмитриенко В.В., Кириллов-Угрюмов В.Г. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 1977, 41, 1765.
4. Galper A.M., Kirillov-Ugryumov V.G., Kotov Yu.D., et al. Preprint FIAN, №79, 1980.
5. Гальпер А.М., Кириллов-Угрюмов В.Г., Лейков Н.Г., Лучков Б.И. Письма в ЖЭТФ, 1980, 31, 693.
6. Webber W.R. Handbuck der Physik, 46/2, 197, Springer, 1967.
7. Голенков А.Е., Охлопков С.П., Свиржевская А.К., Свиржевский Н.С., Стожков Ю.И. Труды ФИАН СССР, 1980, 122, 3.
8. McPherron R.L. Rev. Geophys. Sp. Phys., 1979, 17, 657.

9. *Kirsch E., Krimigis S.M., Sarris E.T., Lepping R.P.* J. Geophys. Res., 1981, A86, 6727.
10. *Kremser G., Korth A., Fejer J.A., Wilken B., Gurevich V.A., Amata E.* J. Geophys. Res., 1981, A86, 3345.
11. *Isenberg P.A., Koons H.C., Fennell J.F.* J. Geophys. Res., 1982, A87, № 3, 1495.
12. *Kennell C.F., Petschek H.E.* J. Geophys. Res. 1966, 71, 1.
13. *Gurnett D.A., Anderson R.F., Scarf F.L., Fredricks R.W., Smith E.J.* Sp. Sci. Rev., 1979, 23, 103.
14. *Михайлова Г.А., Капустина О.В., Михайлов Ю.М.* Геомагнетизм и аэрономия, 1982, 22, 591.
15. *Вернов С.Н., Вакулов П.В. и др.* „Исследования космического пространства”, М.: Наука, 1965, стр.394.
16. *Prasad R., Singh R.N.* Planet. Sp. Sci., 1981, 29, 915.
17. *Fälthammer C.G., Lindqvist P.A., Pedersen A., Grard R., Mozer F.S., Torbert R. V.* IAGA Bulletin № 42, 11, 1979.

Поступила в редакцию

11 апреля 1983 г.

После переработки

2 ноября 1983 г.

Московский

инженерно-физический институт

---