

ВЫСЫПАНИЕ ЭНЕРГИЧНЫХ ПРОТОНОВ НА СРЕДНИХ ШИРОТАХ, СВЯЗАННОЕ С ИМПУЛЬСНЫМ ВОЗМУЩЕНИЕМ МАГНИТОСФЕРЫ

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

Обсуждаются результаты наблюдений импульсных высыпаний протонов с $E_p \geq 12$, 100 и 350 МэВ на высотном аэростате. Анализируется связь этих высыпаний с импульсным возмущением магнитосферы и возможные механизмы высыпаний.

В полете гамма-телескопа "Наталия-1" на высотном аэростате 23 августа 1979 г., проходившем на высоте $30,0 \div 33,5$ км, 46° с. ш. и при жесткости геомагнитного обрезаия 3,5 ГВ наряду с гамма-квантами с $E_\gamma \geq 5$ МэВ регистрировались также потоки заряженной компоненты вторичного космического излучения тремя каналами цифровых интенсиметров. Гамма-телескоп описан подробно в работе ¹. Каналы интенсиметров потоков заряженных частиц в приборе "Наталия-1" позволяют определять суммарную загрузку телескопа протонами и электронами с энергиями:

- 1 канал (J_1) – протоны с $E_p \geq 100$ МэВ, электроны с $E_e \geq 10$ МэВ,
- 2 канал (J_2) – протоны с $E_p \geq 350$ МэВ, электроны с $E_e \geq 15$ МэВ,
- 3 канал (J_3) – протоны с $E_p \geq 12$ МэВ и электроны с $E_e \geq 1,5$ МэВ.

Помимо научной информации в полете регистрировалась также служебная информация, а именно: давление воздуха на высоте полета, температура внутри контейнера, напряжение источников питания и т. п.

Полет проходил в спокойной магнитной обстановке соответствующей Q – дню, ΣK для Москвы равнялось 19 ². Но, несмотря на спокойную обстановку, гамма-телескоп на предельных высотах подъема зарегистрировал существенное возрастание скорости счета заряженных частиц (усредненное за одну минуту) на много стандартных отклонений превосходящее среднее значение потока в соседних временных интервалах (рис. 1). Наиболее значительное отклонение в потоке заряженных частиц сопровождалось также и изменениями в показаниях датчика давления (тот же рисунок), начало этого явления соответствует 7 час 36 мин. Систематических изменений характеристик прибора при этом замечено не было. Значения служебных параметров, за исключением давления окружающего воздуха, не вышли за рабочий диапазон. Объяснение увеличения регистрируемых потоков за счет изменения высоты полета аэростата не может быть принято, так как соответствующая скорость перемещения аэростата по высоте при этом должна быть ≥ 4 км/мин, что неизбежно вызвало бы разрушение оболочки аэростата. Более тонкий временной анализ выявил сложную структуру в зависимости интенсивности регистрируемого излучения от времени (рис. 2). Всплески потоков заряженных частиц имеют длительность 5 – 20 секунд каждый и частота их появления нарастает за 2 – 3 минуты до максимальной, а затем спадает с постоянной времени ~ 5 минут до нуля. Изменяются и амплитуды всплесков во времени. Большей частоте всплесков соответствуют и большие их амплитуды, что особенно характерно для потоков частиц высокой энергии (2-й канал интенсиметров).

Длительность возрастаний потоков высыпающихся частиц достигает $15 \div 16$ минут, что хорошо видно на рис. 1, для наиболее значительного из них. Возрастание давления, по времени совпадающее с увеличением потоков высыпающихся заряженных частиц, может быть объяснено нагревом атмосферы (верхних слоев) этими высыпающимися частицами. Частицы высыпающиеся во всплесках являются, по-видимому, протонами, так как они не дали увеличения темпа счета γ -квантов с энергией ≥ 5 МэВ. В таком случае, можно грубо оценить показатель спектра дополнительного потока этих протонов, связанных с всплеском,

по превышениям в показаниях интенсиметров J_1, J_2 и J_3 . Оценка дает показатель степени спектра протонов 2,5 в диапазоне энергий $12 \div 350$ МэВ.

Исходя из предположения, что повышение давления соответствует увеличению энергии теплового движения атомов воздуха, т. е. увеличение давления от 6 до 15 мбар ($\Delta P = 9$ мбар) соответствует увеличению энергии атомов с 0,02 до 0,05 эВ. Эта энергия может быть принесена на высоту полета азростата (32 км) потоком высыпавшихся частиц и должна быть $\geq 10^{15}$ эВ/см³. Поток энергии высыпавшихся протонов с $E_p \geq 12$ МэВ соответствует $3 \cdot 10^{-4}$ эрг/см² на $H = 32$ км, при показателе спектра 2,5.

В предположении, что показатель спектра высыпавшихся протонов не выполаживается больше, чем до -2 вплоть до энергий ~ 10 кэВ, полная вносимая энергия высыпавшихся частиц $\geq 3 \cdot 10^{17}$ эВ/см³, что на два порядка превышает необходимую величину потока энергии для разогрева верхних слоев атмосферы. При этом не учтена теплопроводность среды и потери энергии на излучение. Обнаруженное возрастание потоков высыпавшихся частиц должно сопровождаться увеличением уровня ионизации во всех слоях ионосферы. Действительно, такие изменения наблюдались ионосферными станциями Москвы, Киева, Горького, Иркутска, Ново-Казалинска и Караганды.

Анализ магнитограмм станций высоких и средних широт выявил особенности на них, совпадающие во времени с моментами всплесковых высыпаний (рис. 3), это особенно хорошо видно по магнитограмме О.Хейса. На рис. 1 показаны высыпания соответствующие импульсам в H -компоненте магнитограммы О.Хейса в 06 ч 50 мин UT и 7 ч 36 мин UT. Обращает на себя внимание, что импульс в 7 ч 36 мин существенно больше предыдущих импульсов в 6 ч 30 мин и 6 ч 50 мин, и он хорошо виден на магнитограммах ст. Москвы, Свердловска, Новосибирска (рис. 3). Этим моментам импульсного изменения магнитного поля и зарегистрированным нами возрастаниям высыпавшихся потоков частиц неплохо соответствуют и особенности во временном поведении критической частоты спорадического слоя (рис. 3) по данным ионосферной станции, г. Горький.

Данные нейтронных мониторов 18-NM-64 ст. Москва, Свердловск, Апатиты, Тбилиси также показывают возрастание потоков космических лучей на $1,2 \div 1,5\%$. Т. е. наблюдается увеличение потоков жесткой компоненты космических лучей в долготном секторе перекрывающем область наблюдения нашей аппаратуры. Подобные импульсные изменения магнитного поля Земли (Si) являются отзвуком внезапного сжатия или расширения магнитопазузы под действием неоднородностей солнечного ветра³. Такие импульсы особенно заметны в период успокоения магнитосферы и солнечного ветра, что соответствует периоду нашего эксперимента. Переход энергии импульса от солнечного ветра в магнитосферу пока еще не понят. Импульсы сопровождаются пульсациями с периодами зависящими от широты наблюдения⁴. Явление характерно высокой скоростью распространения импульсного сигнала в магнитосфере³ и, как следует из результатов данного эксперимента сопровождается увеличением потоков высыпавшихся протонов.

Увеличение потока высыпавшихся протонов за столь малые времена не может быть объяснено в рамках теории переноса⁵. Импульсный характер высыпания частиц по-видимому свидетельствует о присутствии какого-то импульсного механизма ускорения внутри магнитосферы на оболочке с $L \sim 2$. Действие этого механизма по крайней мере обеспечивает ускорение частиц до энергий $50 \div 100$ КэВ. В самом деле имеются две альтернативы: или наблюдаемые во всплесках энергичные протоны являются непосредственно ускоренными частицами или же это протоны захваченной радиации, которые сбрасываются с оболочки $L \approx 2$ за счет резонансного рассеяния по питч-углам. Последний механизм привлекался нами для объяснения подобных же всплесков, наблюдавшихся во время фазы восстановления умеренной магнитной бури в области полуночного меридиана⁶.

Тогда, ускоренные до энергий $50 \div 100$ КэВ частицы являются источником пакетов волн КНЧ диапазона на которых рассеиваются более энергичные протоны захваченной радиации.

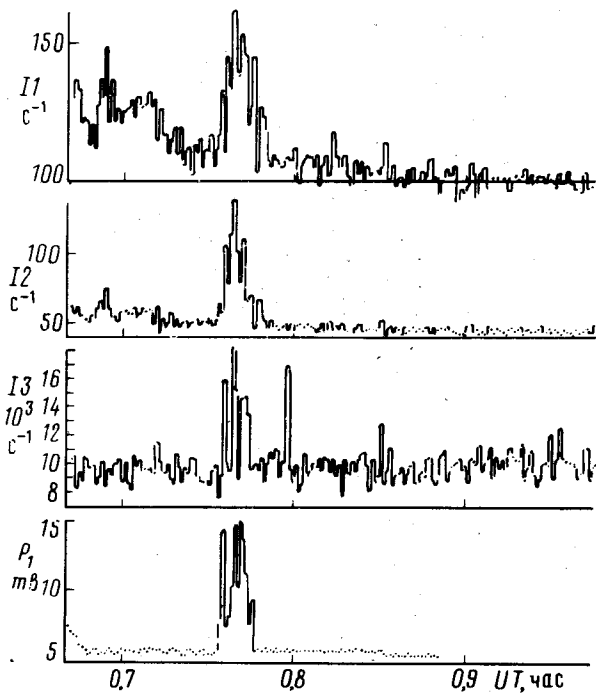


Рис. 1. Зависимость от времени усредненных за 1 минуту показаний интенсивметров $J1$, $J2$ и $J3$, а также давления на высоте полета (P_1).

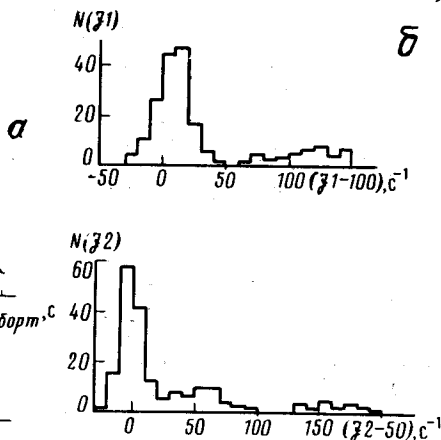
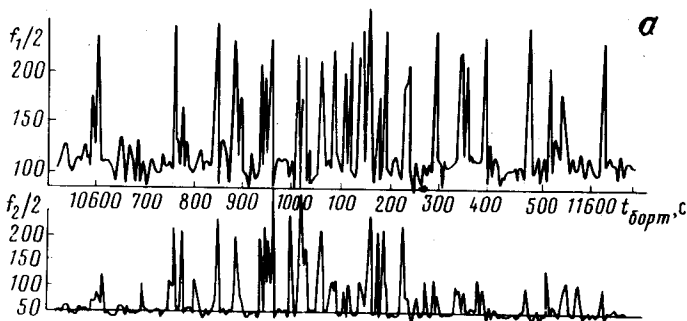


Рис. 2. а — Темп счета в каналах интенсивметров $J1$ и $J2$ в зависимости от бортового времени, для интервала 10500 — 11700 секунд; б — распределение темпа счета в каналах интенсивметров $J1$ и $J2$ по величине

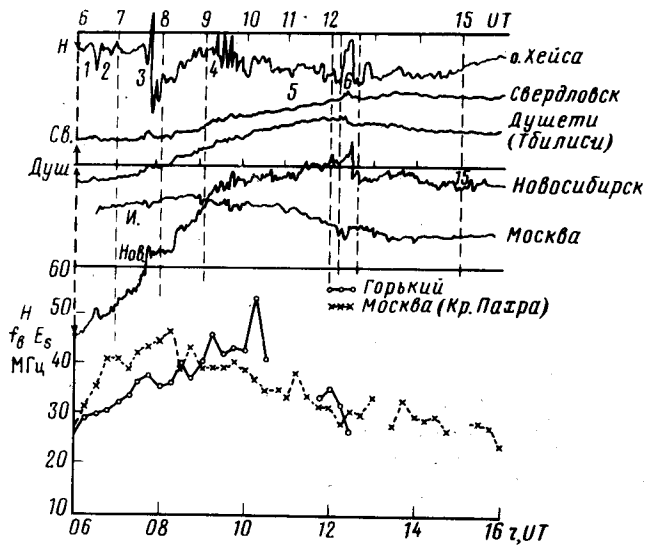


Рис. 3. Магнитограммы станций О.Хейса, Свердловска, Москвы, Душети и Новосибирска для периода 06,00 ÷ 16,00 UT 23 августа 1979 г. и зависимость $f_{кр} E_s$ от времени по данным ионосферных станций г. Горький и Москва (Кр. Пахра)

В настоящее время известны ряд механизмов ускорения до упомянутых энергий $50 \div 100$ КэВ, из которых наиболее широко обсуждается механизм "двойного слоя" ^{7, 8}.

На основании имеющихся данных нельзя пока отвергнуть гипотезу о возможности существования магнитосферного механизма прямого ускорения протонов до энергий ~ 400 МэВ.

Литература

1. Гальпер А.М., Кириллов-Угрюмов В.Г., Котов Ю.Д. и др. "Система для изучения свойств космического γ -излучения с энергией более 1 МэВ". Изв. АН СССР, сер. физ., 1976, **40**, 671.
2. Космические данные. Месячный обзор №9, август, 1979, М.: Наука, 1979.
3. Fukunishi H. Journal of Geophys. Res., 1979, **84**, 7191.
4. Nopper R. W., Jr., Hughes W.J., MacLennan C.G., McPherron R.L. Journal of Geophys. Res., 1982, **87**, 5911.
5. Тверской Б.А. Динамика радиационных поясов, 1968, М.: Наука.
6. Июдин А.Ф., Кириллов-Угрюмов В.Г., Котов Ю.Д., Смирнов Ю.В., Юров В.Н., Шурикаков В.А. Письма в ЖЭТФ, 1983, **38**, 553.
7. Alfven H., Carlquist P. Solar Phys., 1967, v. 1, p. 220.
8. Буланов С.В., Сасоров П.В. Труды II Международной рабочей группы по нелинейным и турбулентным процессам в физике. Киев, 1983 г.