

ИЗМЕРЕНИЕ ЗАРЯДОВОГО СОСТАВА ВТОРИЧНЫХ  
АТМОСФЕРНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

С. А. Воронов, А. М. Гальпер.

Б. И. Лучков, В. А. Федоров

УДК 523.165

С помощью магнитного спектрометра в течение 1972–1973 г. г. проведены измерения зарядового состава электронного потока на разных глубинах атмосферы. Отношение электронов к позитронам на глубине 7–17 г/см<sup>2</sup> составило  $0,91 \pm 0,13$  в магнитно-спокойное время и заметно больше – в периоды магнитных возмущений, что объясняется возникновением дополнительного электронного потока.

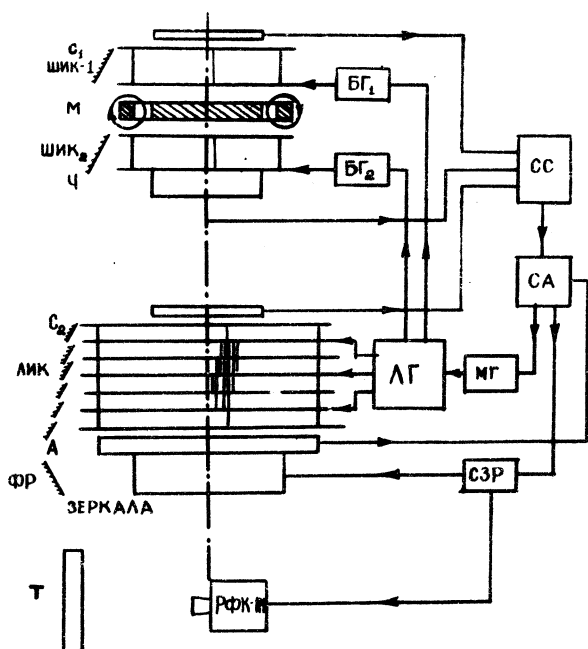
Введение

В последние годы интенсивно изучается электронная компонента космических лучей в атмосфере Земли в интервале энергий 10 – 1000 Мэв. Измерены интенсивности, энергетические спектры и угловые распределения электронных потоков на разных глубинах атмосферы /1–5/. Обнаружены временные вариации электронов в верхних слоях атмосферы /5–10/, в частности, возникновение дополнительных электронных потоков во время геомагнитных возмущений /5,8–10/. В настоящей статье описываются результаты измерений зарядового состава электронов с энергией 100–1500 Мэв, полученные с помощью магнитного спектрометра с искровыми камерами на высотных аэростатах.

Описание прибора

Прибор (рис.1) состоял из телескопа спитилизационных счетчиков  $C_1, C_2, A$ , направленного черенковского счетчика Ч, электромагнита М и искровых камер ШИК–1, ШИК–2 и ЛИК. Выделялись события  $C_1 C_2 \bar{A}$ , возникавшие при остановке частиц в электродах ливневой искровой камеры ЛИК, содержащих 7,2 радиационных длин свинца. Большую часть этих событий составляли электроны с энергией 100–1500 Мэв, что было установлено в результате калибровки при-

бора в электронных и протонных пучках на ускорителях. Окончательное выделение электрических событий производилось по икровой камере, в которых возникала характерная картина прохождения оди-



Р и с. 1. Блок-схема магнитного спектрометра: СС - схема совпадений; СА - схема антисовпадений; МГ, ЛГ, БГ-I, -2 - генераторы высоковольтных импульсов; СЗР - схема запуска регистратора; ФР - фоторегистратор; Т - табло с навигационными приборами

ночного электрона с рождением электронного ливня в пластинах ЛИК.

Спектрометрическую часть прибора составляли две широкозазорные искровые камеры ШИК-I, -2 (величина зазора 5 см), электромагнит М и ЛИК (6 зазоров по 1,5 см). Регистрируемые частицы при прохождении через М испытывали отклонение на угол, который измерялся по трекам в ШИК-I и ШИК-2. Электромагнит представлял Ш-образный стальной сердечник-пластину, толщиной 2 см, с обмот-

кой на боковых секциях. При токе 0,16 а и потребляемой мощности 4 вт индукция в пластине составляла 1,46 тл. Рабочий объем и вес магнитной системы составляли соответственно  $6,5 \times 10^2 \text{ см}^3$  и 5 кг. Для устранения систематической ошибки в измерении угла магнитного отклонения производились регулярные перемагничивания М через каждые 15 мин. Подробное описание прибора приведено в /II/.

Спектрометр отличается крайней простотой, большой эффективной площадью, малым весом и незначительным энергопотреблением, однако обладал малой разрешающей способностью в отдельном измерении. Так, угол многократного рассеяния превышал приблизительно в два раза угол магнитного отклонения. В результате зарядовый состав и энергетический спектр электронов могли быть измерены только методом статистического анализа всего полученного материала.

В течение 1972-73 гг. на геомагнитной широте  $46^\circ$  N (жесткость обрезания 3,5 Гв) было проведено 5 запусков прибора на высотных аэростатах. Прибор помещался в герметический теплозащитный контейнер, давление и температура внутри которого поддерживались в допустимом интервале и контролировались в течение всего полета.

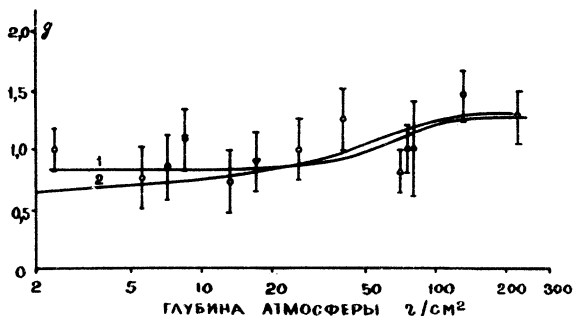
## Результаты измерений

### I. Зарядовый состав электронного потока в магнитно-спокойное время

Магнитно-спокойной считалась обстановка, когда не происходило резких изменений составляющих земного магнитного поля и среднее значение общепланетарного трехчасового индекса ( $K_p$ -индекс) не превышало 2<sup>+</sup>. В таких условиях проходили полеты 2.8.73, 12.9.73, часть полета 21.9.73 (13.00 - 21.00 UT) и первая половина полета 12.10.72 (5.00-9.00 UT).

Результаты измерения зарядового отношения  $g = N_{e^-} / N_{e^+}$  на разных глубинах атмосферы в магнитно-спокойное время показаны на рис.2. Здесь же приведены экспериментальные результаты Бюермана /12/, полученные вместе с геомагнитной жесткостью 0,3 Гв для электронов с энергиями 100-200 Мэв, а также расчетные кривые Бюермана /12/ и Даниеля и Стефенса /13/ для вторичных атмосферных электронов тех же энергий. Экспериментальные результаты данной работы и работы /12/ совпадают в пределах статистических оши-

бок, что указывает на постоянство зарядового состава электронного потока в интервале геомагнитных жесткостей 0,3–3,5 Гв. Для интервала глубин 2,4–30 г/см<sup>2</sup> измерения дают  $\xi_{\text{изм}} = 0,9 \pm 0,13$ , в то время как по расчетам для вторичных электронов  $\xi_{\text{вт}} = 0,79 - 0,84$ . Учет возвращенных (дважды-альбедных) электронов, зарядовое отно-



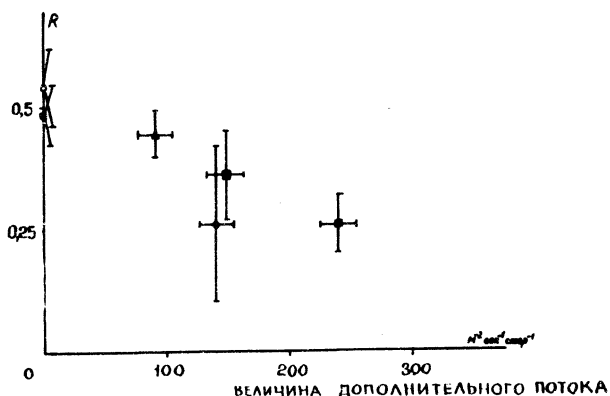
Р и с.2. Зависимость зарядового отношения  $\xi = N_{e^-}/N_{e^+}$  от глубины атмосферы в магнитно-спокойное время ■ - 12.10.72, ▲ - 2.8.73, ● - 12.9.73, ▼ - 21.9.73; ○ - /12/. Сплошные кривые - теоретический расчет для вторичных электронов при жесткости обрезания 0,3 Гв (1 - /12/) и 3,5 Гв (2 - /13/)

шение для которых можно принять равным  $\xi_{\text{да}} = 1,0$ , увеличивает  $\xi$  суммарного электронного потока и приводит к согласию с измеренной величиной. Определенный из этих данных поток возвращенных электронов составляет  $I_{\text{да}} (> 100 \text{ Мэв}) = 150 \pm 140 \text{ (м}^2 \text{сек.стер)}^{-1}$ , что согласуется с потоком альбедных электронов /1-4/.

## 2. Зарядовый состав электронного потока во время магнитных возмущений

Магнитные возмущения отмечались во время полетов 6.9.72, 12.10.72 (9.00–18.00 UT) и 21.9.73 (5.00–13.00 UT). Интенсивность электронов в верхних слоях атмосферы в это время оказалась выше, чем в магнитно-спокойные дни, что можно объяснить возникновением дополнительного электронного потока. При этом заметно изменялся и зарядовый состав электронов: зарядовое отношение возрастало, превышая 1, как было, например, показано для случая

магнитного возмущения 12.10.72 /8/. На рис.3 показана зависимость доли позитронов  $R = N_{e+}/(N_{e+} + N_{e-})$  в общем электронном потоке от величины дополнительного электронного потока. Как видно,  $R$  убывает с возрастанием дополнительного потока. Вероятность



Р и с.3. Зависимость доли позитронов  $R$  в общем электронном потоке на глубине 7-10 г/см<sup>2</sup> от величины дополнительного потока электронов:  $\blacklozenge$  - 6.9.72,  $\blacksquare$  - 12.10.72,  $\circ$  - 2.9.73,  $\blacktriangle$  - 21.9.73

того, что измеренные значения представляют флуктуации величины  $R_0 = 0,52 \pm 0,04$ , полученной в магнитно-спокойное время, составляет  $\sim 10^{-4}$ . Из приведенных результатов следует, что дополнительные потоки преимущественно, на 60-100% в каждом случае, состояли из электронов. Среднее значение доли электронов в дополнительном потоке, определенное по всем измерениям, равно  $0,95 \pm 0,05$   $\pm 0,08$ , что на 90% уровне достоверности составляет 80-100%.

Этот результат опровергает альбедный механизм возникновения дополнительного электронного потока /14/, согласно которому он в равной мере состоял бы из электронов и позитронов, и может свидетельствовать в пользу одного из ускорительных механизмов.

Авторы выражают благодарность О.Ф. Прилуцкому, Л. В. Курносовой, Л. А. Разоренову, М. О. Фрадкину за интерес к работе и полезные обсуждения, А. С. Александяну за помощь в проведении калибровочного эксперимента, А. Ф. Кустовскому и В. В. Матвее-

бу за помощь в наладке прибора и проведении измерений и А. И. Фесенко, З. П. Тышкевич, В. Н. Семиной, В. А. Елисейевой и Р.А. Михеевой за помощь в обработке материала.

Поступила в редакцию  
3 февраля 1975 года.

### Л и т е р а т у р а

1. C. D. Verma. Journ. Geophys. Res., 72, 915 (1967).
2. M. H. Israel. Journ. Geophys. Res., 74, 4701 (1969).
3. В. А. Безуо, А. М. Гальпер и др., "Элементарные частицы и космические лучи", вып. 2, стр. 3, Атомиздат, М. 1969 г.
4. В. А. Безуо, А. М. Гальпер и др. Известия АН СССР, сер. физ., 33, 1827 (1969).
5. А. М. Гальпер, В. В. Дмитриенко и др., Труды Международного семинара "Генерация космических лучей на Солнце", стр.456, НИИЯФ МГУ, 1971 г.
6. J. R. Jokipii, J. L'Heureux, P. Meyer. Journ. Geophys. Res., 72, 4375 (1967).
7. W. R. Webber. Journ. Geophys. Res., 73, 4905 (1968).
8. С. А. Воронов, А. М. Гальпер и др., Известия АН СССР, сер. физ., 38, 1966 (1974).
9. I. M. Martin, D. B. Rai et al. Nature, Phys. Sci. 240, 84 (1972).
10. I. M. Martin, D. B. Rai et al. Nature, 252, 25 (1974).
11. С. А. Воронов, А. Ф. Кустовский и др., "Элементарные частицы и космические лучи", вып.4 (в печати).
12. K. P. Beuermann. Journ. Geophys. Res., 76, 4291 (1971).
13. R. R. Daniel, S. A. Stephens. TIFR-report ICR/NE -73-5, (1973); будет опубликовано в Space Sci. Rev.
14. Н. Л. Григоров, Л. Ф. Калинин и др. Космические исследования, 8, 423 (1970).