

УДК 539.163

САЯНСКИЙ СПЕКТРОГРАФИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС КАК ВАЖНЫЙ КОМПОНЕНТ МИРОВОЙ СЕТИ НЕЙТРОННЫХ МОНИТОРОВ

А.А. Луковникова, В.М. Алешков, В.М. Дворников[†], В.Е. Сдобнов

SAYAN SPECTROGRAPHIC COMPLEX AS AN IMPORTANT COMPONENT OF THE WORLDWIDE NETWORK OF NEUTRON MONITORS

A.A. Lukovnikova, V.M. Aleshkov, V.M. Dvornikov[†], V.E. Sdobnov

В работах [1, 2] описаны подходы к модернизации станций Саянского спектрографического комплекса, входящих в мировую сеть нейтронных мониторов, для получения и передачи данных наблюдений интенсивности космических лучей (КЛ) в режиме реального времени. В настоящее время данная задача решена для станций Саянского спектрографа.

В работе описаны изменения в системах регистрации и передачи данных нейтронных мониторов Саянского спектрографического комплекса, который состоит из станций Иркутск-1 (475 м), Иркутск-2 (2000 м) и Иркутск-3 (3000 м), а также представлена информация о вариациях интенсивности космических лучей в режиме реального времени в Интернет и показано, как с помощью имеющихся данных возможно определение методом спутниковой геодезической сети (СГС) параметров жесткого спектра КЛ в отдельные периоды наблюдений в режиме реального времени.

Works [1, 2] describe approaches to modernize the Sayan spectrographic cosmic-ray (CR) complex stations of the worldwide network of neutron monitors to receive and transmit data on CR intensity in real-time mode. To date this problem has been solved for the Sayan spectrographic complex.

In our work, we describe changes in systems for registering and transmitting data from the Sayan spectrographic complex consisting of Irkutsk-1 (475 m), Irkutsk-2 (2000 m), and Irkutsk-3 (3000 m), give information about CR intensity variations in real-time mode via the Internet, and show how one can determine rigidity CR spectrum parameters using available data and the method of spectrographic global survey during separate observation periods in real-time mode.

Для диагностики процессов, происходящих в гелиосфере, используются наблюдения вариаций космических лучей на наземной сети станций нейтронных мониторов в совокупности с данными космических аппаратов [1, 2].

В состав мировой сети входят 3 станции Саянского спектрографического комплекса [1]. За последнее время станции претерпели серьезную модернизацию и полностью подготовлены к представлению данных о вариациях КЛ в режиме реального времени.

В данный момент станция на 475 м (Иркутск-1) работает практически в автономном режиме, и данные в сеть интернет представляются оперативно, за истекший час. Эта задача была решена еще в 2000 г. Данные выставляются «real-time», исправленные данные поступают в один из мировых центров данных.

Иркутск-2. В январе 2009 г. запущен в работу новый регистратор под ОС Linux, работающий на данный момент параллельно с регистратором под DOS. Регистратор под ОС Linux работает на основе пересчетных схем плат PCI-1780. Информация о давлении от барометра БРС-1М поступает через контроллер в оба регистратора. Данные за предыдущие дни передаются через местную Локальную вычислительную сеть (LAN – Local Area Network) на сервер в Иркутск, где обрабатываются и выставляются на сайт cgm.iszf.irk.ru.

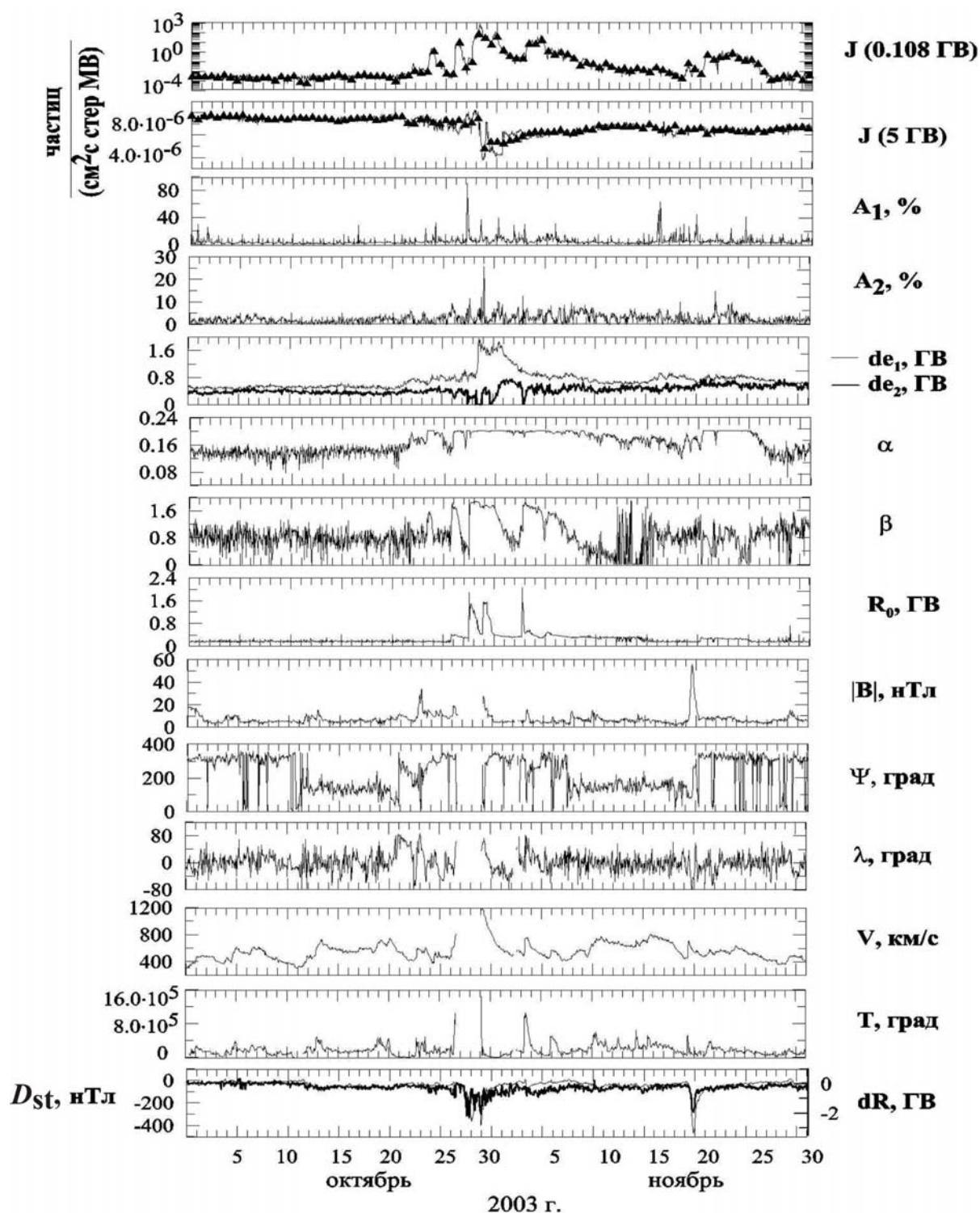
Иркутск-3. Данные от одной секции нейтронного монитора передаются через сети сотового оператора и через местную сеть на сервер в Иркутск, после автоматической обработки также выставляются на сайт. Еще от одной секции нейтронного монитора информация записывается на регистратор, аналогичный установленному на 2000 м под управлением ОС Linux. Данные о давлении от барометра БРС-1М

поступают только на регистратор под DOS по причине расположения секций нейтронного монитора в разных зданиях.

Кроме того, что информация о вариациях интенсивности КЛ доступна на нашем сайте с разрешением начиная с 1-минутных значений, данные поступают в мировой центр данных (<ftp://cr0.izmiran.rssi.ru/COSRAY!/>). Недавно появился еще один источник, куда поступают данные со станций, передающих информацию в реальном времени: <http://www2.nmdb.eu.Ctujlyz>. На этом сайте имеются данные 2-х наших станций (Иркутск-1 и Иркутск-2) в режиме реального времени.

В работах [1, 3] показано, что при разработке соответствующего ресурса, куда стекались бы данные от станций КЛ в режиме «real-time», и выполнении ряда требований по верификации данных в распоряжении научного сообщества оказывается мощный инструмент, который позволяет проверять различные модели модуляции космических лучей и распространения их в гелиосфере.

Рассмотрим события октября–ноября 2003 г., которые характеризуются серией солнечных протонных событий, форбуш-эффектов и интенсивными геомагнитными бурями. На рисунке представлены результаты анализа событий в октябре–ноябре 2003 г. На двух верхних панелях сплошными кривыми представлены временные профили интенсивности частиц с $R = 0.108$ и 5 ГВ, рассчитанные с использованием найденных параметров спектра по формуле (1), а треугольниками – данные наблюдений. На следующих двух панелях представлены амплитуды первой (A_1) и второй (A_2) гармоник углового распределения КЛ с жесткостью $R = 4$ ГВ. Следует отметить, что возрастание амплитуды второй гармоники свидетельствует о том, что Земля в этот момент



Результаты анализа событий в октябре–ноябре 2003 г.

находится внутри петлеобразной структуры ММП [5]. На следующих четырех панелях представлены значения параметров жесткого спектра $\Delta\epsilon_1$ (тонкая линия), $\Delta\epsilon_2$ (толстая линия), α , β , R_0 , определенные за исследуемый период. Далее на пяти панелях представлены значения модуля ММП, углов, характеризующих ориентацию вектора ММП в геоцентрической эклиптической системе координат, скорость и температуру плазмы СВ соответственно. На нижней панели представлены значения D_{st} -индекса (тонкая линия) и значения вариаций жест-

костей геомагнитного обрезания при $R_c = 4$ ГВ (толстая линия), полученные при анализе методом СГС. Судя по поведению параметра R_0 , который изменяется в пределах от ~ 0.2 до ~ 1.6 ГВ, размер областей с нестационарными электромагнитными полями на орбите Земли составляет $\sim 10^{10}$ – 10^{11} см. Данный размер на один–два порядка меньше размеров областей, в которых происходит модуляция КЛ при спорадических явлениях. В связи с этим можно предположить, что нестационарные процессы происходят в волокнистых структурах ММП. Напряженность

магнитного поля в этих структурах (см. поведение параметра β) за счет временных вариаций может уменьшаться более чем на порядок, а увеличиваться примерно в 2 раза. Значения параметра α варьируются в пределах от ~ 0.15 до ~ 0.25 . На основе полученных результатов предложен следующий сценарий ускорения КЛ в солнечной короне и гелиосфере. Предполагается, что магнитные поля над активными областями на Солнце имеют волокнистую структуру. Если магнитные поля волокнистых структур возрастают во времени, то возникает дрейф частиц (с ларморовским радиусом, меньшим поперечных размеров этих структур) внутрь волокон и их ускорение за счет бетатронного механизма. Вследствие возрастания токов, формирующих данные структуры, возрастает электродинамическая сила со стороны собственного магнитного поля данных токов, стремящаяся растянуть токовый контур. Эта сила обычно уравнивается электродинамическими силами соседних токовых контуров, газовым давлением и гравитационными силами. Однако если ток превосходит определенное критическое значение, баланс сил может нарушиться, и произойдет слияние двух соседних токовых контуров или разрыв токовой цепи, сопровождающийся взрывным процессом с высыпанием ускоренных частиц. В результате этого произойдет укрупнение поперечных размеров волокнистых структур (возрастание параметра R_0 жесткостного спектра КЛ) за счет исчезновения мелкокомасштабных волокон (уменьшение параметра β). Распространяясь в неоднородных полях солнечной короны и гелиосферы, высыпавшиеся пучки ускоренных частиц поляризуются, что приводит к ускорению частиц солнечной короны и межпланетной среды, ларморовский радиус которых меньше поперечного размера данного пучка (возрастание параметра α). Из-за возникновения деполаризационных продольных токов формируется токовая система и генерируется магнитное поле, а следовательно, и вихревое электрическое поле, ускоряющее частицы за счет бетатронного механизма (возрастание параметра β), также возрастает напряженность поля крупномасштабных структур, мелкокомасштабными элементами которого являются волокна (возрастание параметров $\Delta\epsilon_1$ и $\Delta\epsilon_2$). Информация о процессах слияния волокон отражается в вариациях параметров жесткостного спектра КЛ α , β , а в незначительных возрастаниях параметра $\Delta\epsilon_1$ — существенно раньше, чем сформируются и достигнут Земли крупномасштабные структуры ММП, в результате чего эти структуры, а также параметры жесткостного спектра и анизотропии КЛ, возрастания которых обусловлены данными структурами (R_0 , $\Delta\epsilon_1$, $\Delta\epsilon_2$ и A_2), как правило, наблюдаются позже возрастаний параметра α и уменьшений параметра β .

Из сопоставления графиков $\Delta\epsilon_1$, $\Delta\epsilon_2$ с графиком модуля ММП $|B|$ (рисунок) в период экстремальных событий в октябре–ноябре 2003 г. следует, что 29 октября Земля попала в область с усиленной напряженностью ММП, что послужило причиной гигантского форбуш-эффекта. Об этом свидетельствуют и повышенные значения амплитуд двунаправленной

анизотропии A_2 , являющиеся признаком прохождения корональных выбросов масс (КВМ) с соответствующей петлеобразной структурой ММП [5].

В событии же 20 ноября, при котором в межпланетном пространстве наблюдалось возрастание модуля ММП почти до 60 нТл, эти параметры практически не отреагировали на такое повышение. В рамках используемой концепции данное явление может иметь место по двум причинам. Во-первых, эффекты потери энергии высокоэнергичных частиц, а следовательно, и понижение их интенсивности будут наблюдаться только в том случае, когда частицы, перед тем как они попадут на Землю, пересекут (за счет магнитного дрейфа) область с повышенной напряженностью магнитного поля. Таким образом, если, например, Земля попадет в область южной границы магнитной структуры с повышенной напряженностью поля, а скорость дрейфа будет направлена с юга на север, то эффекта в КЛ высоких энергий наблюдаться не будет. Во-вторых, не будет наблюдаться эффекта понижения и в том случае, если не сформируется петлеобразная структура ММП, являющаяся магнитной ловушкой. В этом случае эффект повышения амплитуды второй гармоники будет отсутствовать, что и наблюдается в данном событии.

Как следует из графиков (рисунок), в отдельные моменты исследуемого периода наблюдается сильная анизотропия КЛ с амплитудами 20–80 % для первой гармоники A_1 и 15–50 % для второй гармоники в пичч-угловом распределении частиц A_2 .

Максимальные возрастания первой гармоники A_1 наблюдались в начале 29.10 (~ 80 %), во второй половине 01.11 (~ 60 %) и в конце 20.11 (~ 40 %). Максимальные амплитуды двунаправленной анизотропии A_2 наблюдались в конце 29.10 (~ 50 %) и в конце 31.10 (~ 30 %), а также в период 20–24 ноября (~ 15 %).

Заключение

С помощью универсального аналитического выражения для описания жесткостного спектра КЛ в широком диапазоне энергий, которое содержит 5 параметров, характеризующих изменения энергии частиц за счет потенциальной, вихревой и поляризационной составляющих электрического поля гелиосферы, а также размер областей с нестационарными электромагнитными полями за период октябрь–ноябрь 2003 г., получены параметры спектра $\Delta\epsilon_1$, $\Delta\epsilon_2$, α , β , и R_0 , отражающие следующие характеристики гелиосферы: параметр $\Delta\epsilon_1$ характеризует изменения энергии КЛ за счет градиентного и центробежного дрейфов частиц в спиралевидном ММП против индуцированного электрического поля и пропорционален напряженности ММП, а параметр $\Delta\epsilon_2$ — внутри магнитных ловушек. Параметр $\beta = V/B_0$ (B_0 — напряженность фонового, а V — переменного во времени ММП), отражает влияние на спектр КЛ (при магнитной жесткости частиц $R \leq R_0$) нестационарных во времени мелкокомасштабных магнитных полей, а параметр $\alpha = E_{pl}^2/B^2$ — поляризационных электрических полей E_{pl} , возникающих при распространении ускоренных на Солнце частиц в неоднородных полях гелиосферы.

Наблюдаемые вариации интенсивности КЛ в широком диапазоне энергий в октябре–ноябре 2003 г. обусловлены трансформацией галактического спектра частиц вследствие изменения их энергии в потенциальных, вихревых и поляризационных электрических полях гелиосферы.

В результате выполненных работ данные с двух станций Саянского спектрографического комплекса (Иркутск-1 и Иркутск-2) поступают в мировые центры данных в режиме реального времени. Дальнейшая модернизация станции Иркутск-3 позволит передавать данные всех трех станций в мировые центры данных в режиме реального времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Луковникова А.А., Дворников В.М., Алешков В.М., Сдобнов В.Е. О путях реализации прогноза солнечных протонных событий в режиме реального времени // Байкальская международная молодежная научная школа по фундаментальной физике. Иркутск. 2007. С. 233–234.
2. Aleshkov V.M., Dvornikov V.M., Lukovnikova A.A., Sdobnov V.E. Sayan mountain spectrographic complex of ISTP SB RAS // Program & Abstracts. Solap Extreme Events 2007. International Symposium: Fundamental Science & Applied Aspects, Athens, Greece, 24–27 September 2007. P. 99.
3. Дворников В.М., Кравцова М.В., Луковникова А.А., Сдобнов В.Е. О возможности прогноза солнечных протонных событий. Изв. РАН. Сер. физ. 2007. Т. 71, № 7. С. 976–978.
4. Dvornikov V.M., Sdobnov V.E., Sergeev A.V. Analysis of cosmic ray pitch-angle anisotropy during the forrush-effect in June 1972 by the method of spectrographic global survey. Proc. 18th ICRC. 1983. Bangalor. India. V. 3. P. 249–252.
5. Richardson I.G., Dvornikov V.M., Sdobnov V.E., et al. // J. Geophys. Res. 2000. V. 105, N A6. P. 12579.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск