

АНАЛИЗ GLE 6 ЯНВАРЯ 2014 Г.

Сдобнов В.Е.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской
академии наук, Иркутск, Россия*

6 января 2014 на ряде высокоширотных станциях космических лучей (КЛ) (Баренцбург, Южный полюс, Апатиты, МакМёрдо) было зарегистрировано небольшое повышение интенсивности нейтронной компоненты КЛ, которое отмечено как GLE72 (Ground Level Enhancement). С начала цикла это лишь второе событие. Первое, случившееся 17 мая 2012 г. и обозначенное GLE71, тоже было довольно слабым.

6 января 2014 на высокоширотных станциях Баренцбург и Южный полюс возрастание скорости счета нейтронной компоненты КЛ в пятиминутных данных составило ~2-3 %, на других станциях еще меньше. Тем не менее, на этих станциях возрастание интенсивности КЛ четко выделяется на фоне шума. Возрастание скорости счета нейтронных мониторов по пятиминутным данным на станциях КЛ как Баренцбург и Апатиты началось в 08:15-08:20 UT [Э.В. Ващенко, Ю.В. Балабин, Б.Б. Гвоздевский, А.В. Германенко. Анализ события GLE72 6 января 2014 // 33-я Всероссийская конференция по космическим лучам. 11-15 August 2014. Дубна.].

На станции КЛ Южный Полюс по двухминутным данным начало события определено в 07:58 UT.

Данное событие наблюдалось и на космических аппаратах, в частности, на ACE [<http://www.srl.caltech.edu/ACE/>] при энергиях протонов менее 100 МэВ и на GOES [http://sdat.ngdc.noaa.gov/sem/goes/data/new_avg/] при энергиях протонов более 700 МэВ. Возрастание скорости счета в протонном канале GOES 420-510 МэВ началось в 08:12 UT.

Событие GLE72 было связано с вспышкой на Солнце, которая произошла далеко за западным лимбом (W1150). Эта вспышка сопровождалась всплеском II типа в метровом радиодиапазоне (m-Type II). Начало всплеска отмечено в ~07:45 UT, а окончание - в ~08:05 UT. Вспышка на Солнце стала причиной в 07:30 UT коронального выброса массы (КВМ), двигавшегося со скоростью 1960 км/сек. Межпланетная обстановка была спокойной, направление вектора ММП было близко к паркеровской спирали (около 40° от Солнца), но было значительно наклонено к югу (~ -30°). Геомагнитная обстановка также была относительно спокойной - Dst-индекс в течение 6 января 2014 составлял ~ -10 нТл.

ДАННЫЕ И МЕТОД

Для анализа использовались усредненные за часовые интервалы данные наземных измерений на мировой сети нейтронных мониторов (41 станций).

Методом спектрографической глобальной съемки [Dvornikov V.M., Sdobnov V.E., Sergeev A.V. *Analysis of cosmic ray pitch - angle anisotropy during the June 1972 Forbush effect by method of spectrographic global survey // Proc.18th ICRC. Bangalore. India. 1983. V. 3. P. 249.*; Dvornikov V.M., Sdobnov V.E. *Variations in the rigidity spectrum and anisotropy of cosmic rays at the period of Forbush effect on 12 –15 July// Int. J. Geomagn.Aeron. 2002. V. 3. № 3. P. 217.*] получена информация о вариациях углового и энергетического распределения первичных КЛ за пределами магнитосферы Земли, а также, – об изменениях планетарной системы жесткостей геомагнитного обрезания за каждый час наблюдений. Амплитуды модуляции отсчитывались от фонового уровня 17 апреля 2014 г.

По информации, полученной по данным мировой сети станций КЛ, и данным по измерениям протонов на орбите Земли космическим аппаратом GOES-15 [http://saldat.ngdc.noaa.gov/sem/goes/data/new_avg/] рассчитаны спектры протонов КЛ в моменты исследуемого GLE. Для расчета спектров КЛ использовалось выражение, полученное в рамках модели модуляции КЛ регулярными электромагнитными полями гелиосферы [Дворников В.М., Кравцова М.В., Сдобнов В.Е. *Диагностика электромагнитных характеристик межпланетной среды по эффектам в космических лучах // Геомагнетизм и аэрномия, 2013, Т. 53, № 4, С. 1–12.*].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Начало всплеска II типа в метровом радиодиапазоне на Солнце 6 января 2014 отмечалось в ~07:45 UT, а повышение интенсивности КЛ г. на высокоширотных нейтронных мониторах началось в ~ 08:15 - 08:20 UT. На средне и низкоширотных станциях КЛ повышение интенсивности КЛ не наблюдалось. Многими исследователями (см., например, обзор [*Miroshnichenko L.I. Solar Cosmic Rays. Springer. 2001. 480 p.*; *Miroshnichenko, L.I.: Solar Cosmic Rays: Fundamentals and Applications, 2nd edn. Springer. 2014, 521 p.*]) обсуждается вопрос о виде дифференциального спектра солнечных протонов на орбите Земли. При такой постановке вопроса при измерениях спектров частиц не понятно, каким образом можно отличить частицы, ускоренные на Солнце, от частиц галактического происхождения. В данной работе предполагается, что разность между интенсивностью протонов в разных энергетических интервалах после 09:00 UT и интенсивностью протонов соответствующих энергий в 08:00 UT является дифференциальным спектром солнечных протонов.

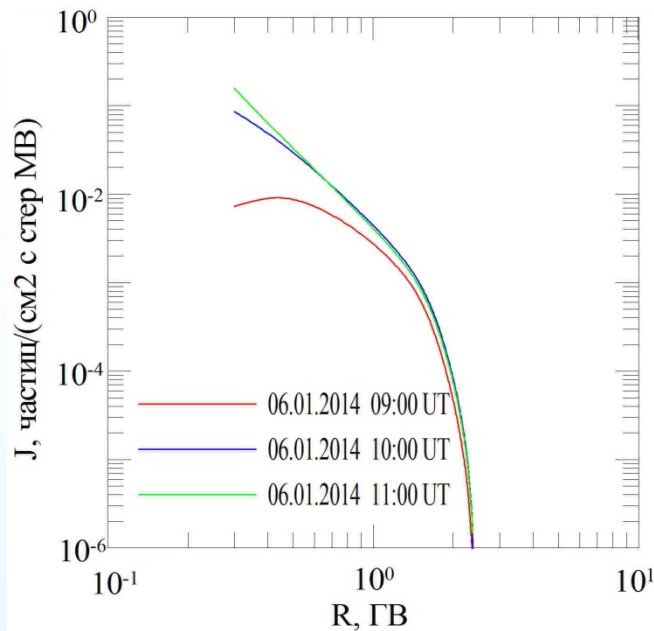
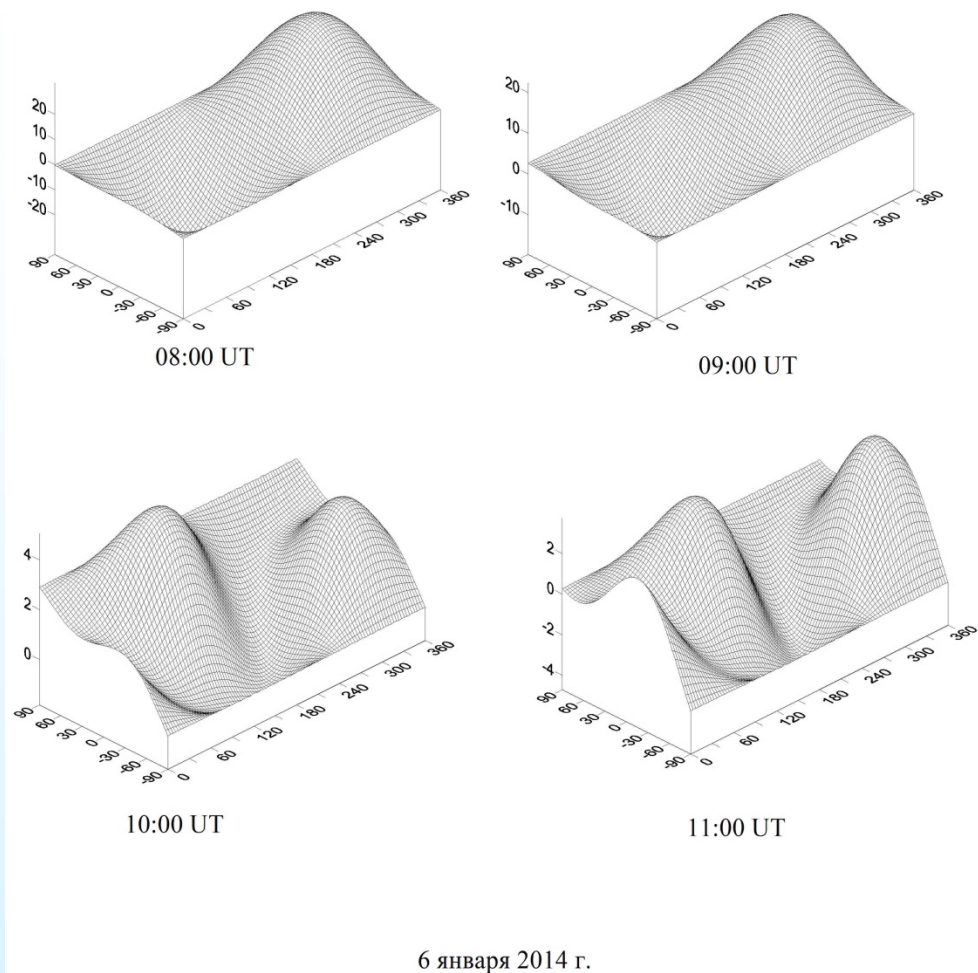


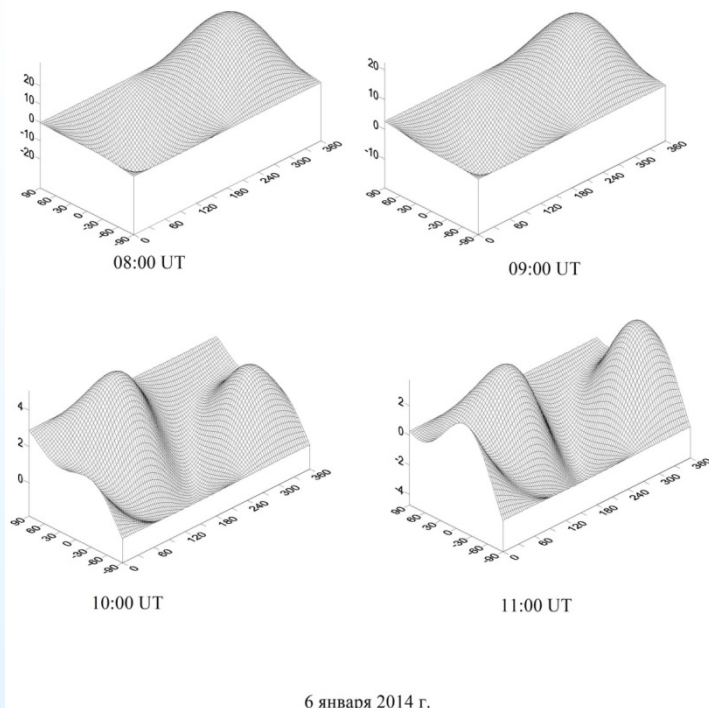
Рис.1. Дифференциальные жесткостные спектры первичных КЛ 6 января 2014 г.

Таким образом мы определили, что ускорение протонов в период рассматриваемого события произошло до жесткости частиц $R \sim 2.4$ ГВ. На рис. 1 представлены дифференциальные жесткостные спектры первичных КЛ в разные моменты времени GLE72. Видно, что эти спектры в диапазоне жесткостей от ~ 0.3 до ~ 2.4 ГВ не описываются ни степенной, ни экспоненциальной функцией от жесткости частиц.



На рис. 2 представлены относительные изменения интенсивности КЛ 6 января 2014 г. (относительно 17 апреля 2014 г.) с жесткостью 4 ГВ в солнечно-эклиптической геоцентрической системе координат для различных моментов времени в период GLE. По оси абсцисс отложены значения долготного угла, а по оси ординат – широтного угла.

Рис. 2. Относительные изменения интенсивности КЛ с жесткостью 4 ГВ в солнечно-эклиптической геоцентрической системе координат.



Из рис. 2 видна сложная динамика изменений интенсивности КЛ с жесткостью 4 ГВ по направлениям прихода частиц. Так повышенный поток частиц с жесткостью 4 ГВ в 08:00 UT и 09:00 UT идет из направления $\sim 270^\circ$, $\sim 0^\circ$, т.е. присутствует ярко выраженная первая гармоника пичч-угловой анизотропии с амплитудой $\sim 25 - 30\%$. В последующие моменты времени топология распределения интенсивности КЛ с жесткостью 4 ГВ по направлениям прихода частиц существенно отличается от топологии в предыдущем часе. Для частиц с жесткостями 4 ГВ в 10:00 UT и 11:00 UT наблюдается двунаправленная анизотропия с повышенной интенсивностью из направлений $\sim 130^\circ$, 40° и $\sim 330^\circ$, $\sim -15^\circ$ с амплитудой $\sim 3-5\%$

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что в период GLE 6 января 2014 г. ускорение протонов произошло до жесткостей ~ 2.4 ГВ. Дифференциальный жесткостной спектр КЛ в этот период в диапазоне от 0.3 до 2.4 ГВ не описываются ни степенной, ни экспоненциальной функцией от жесткости частиц, а распределение КЛ по направлениям прихода к Земле динамично во времени. В момент GLE Земля находилась в петлеобразной структуре ММП, что подтверждает вывод работы [Э.В. Ващенко, Ю.В. Балабин, Б.Б. Гвоздевский, А.В. Германенко. Анализ события GLE72 6 января 2014 // 33-я Всероссийская конференция по космическим лучам. 11-15 August 2014. Дубна].

Более подробное исследование различных аспектов данного события проведено в статье [Li C., Miroshnichenko L.I, Sdobnov V.E. *Small Ground-Level Enhancement of 6 January 2014: Acceleration by CME-Driven Shock?* // *Solar Physics*, 2016, V. 291, P. 975-987. DOI 10.1007/s11207-016-0871-8.]. Его результаты представлены на данной конференции в постерном докладе № СКЛ-17".

Спасибо за внимание!