

СОЛНЕЧНОЕ ПРОТОННОЕ СОБЫТИЕ 15 ИЮНЯ 1991 г.

М.В. Кравцова, В.Е. Сдобнов

SOLAR PROTON EVENTS ON 15 JUNE 1991

M.V. Kravtsova, V.E. Sdobnov

С использованием данных мировой сети нейтронных мониторов методом спектрографической глобальной съемки рассчитаны изменения жесткостного спектра и анизотропии космических лучей (КЛ) во время возрастания интенсивности КЛ, обусловленного событием на Солнце 15 июня 1991 г. Приведены спектры КЛ, а также фазы пич-угловой анизотропии КЛ в отдельные моменты этого события.

Using data from the worldwide network of neutron monitors, we calculated variations in cosmic ray (CR) rigidity spectrum and anisotropy with increasing CR intensity (caused by the solar flare event of 15 June 1991) by the method of spectrographic global survey. Spectra of CR and phases of the CR pitch-angle anisotropy at different moments of this event are presented.

Солнечная вспышка представляет собой процесс выделения энергии в атмосфере Солнца в основном в виде электромагнитного излучения и является наиболее мощным проявлением солнечной активности. Часто во время мощных вспышек происходит ускорение заряженных частиц солнечной плазмы до высоких энергий. Часть таких частиц испускается в межпланетное пространство и называется солнечными космическими лучами (СКЛ). В наиболее мощных событиях поток СКЛ настолько велик, что вызывает возрастание потока космических лучей (КЛ) на поверхности Земли, так называемые события GLE (Ground Level Enhancements, наземное возрастание).

Аналізу GLE просвещен ряд работ [Дворников, Сдобнов, 1997; Белов и др., 2005; Дворников и др., 2006], в которых изучаются различные аспекты солнечно-земных связей.

В 1991 г. отмечался максимум солнечной активности, на Солнце возникали области AR, от которых можно было ожидать вспышки. В период 1–15 июня 1991 г. произошли шесть интенсивных вспышек, пять из которых превышали X12.5.

В работе исследуется возрастание интенсивности КЛ, зарегистрированное на наземной сети станций нейтронных мониторов и связанное с мощной солнечной вспышкой класса 3В/X12+ и гелиокоординатами 33° N и 69° W, произошедшей 15 июня 1991 г. в активной области AR 6659 [Akimov et al., 1996; Банин, Коваль, 2008]. По данным космического аппарата GOES-7, начало вспышки в линии H α зарегистрировано в 08:10 UT. По часовым данным наземных установок, GLE началось позднее, ~08:30 UT.

Данные и метод

Для анализа использовались данные мировой сети станций нейтронных мониторов, исправленные на давление и усредненные за часовые интервалы. Амплитуды модуляции отсчитывались от фонового уровня 3 марта 1991 г. Использовались данные 44 нейтронных мониторов и данные с космического аппарата GOES-7 [<http://spidr.ngdc.gov/spidr/index.html>] (протоны в 7 энергетических интервалах от 0.8 МэВ до 500 МэВ).

Анализ выполнен с применением метода спектрографической глобальной съемки [Dvornikov et al., 1983; Dvornikov, Sdobnov, 2002], позволяющего по данным наземных наблюдений исследовать вариации жесткостного спектра и анизотропии КЛ, а также – изменения планетарной системы жесткостей геомагнитного обреза (ЖГО) за каждый час наблюдений.

Результаты анализа

На рис. 1 приведены относительные изменения интенсивности КЛ с R=4 и 10 ГВ в зависимости от азимутических направлений в солнечно-эклиптической геоцентрической системе координат для различных моментов времени 15 июня 1991 г. Крестиками отмечены часовые значения направления межпланетного магнитного поля по данным прямых измерений [<http://omniweb.gsfc.nasa.gov/>].

По данным GOES-7 и полученным значениям вариаций жесткостного спектра рассчитан спектр, вид которого [Kravtsova, Sdobnov, 2011] получен в рамках модели модуляции КЛ регулярными электромагнитными полями гелиосферы.

На рис. 2 представлены дифференциальные жесткостные спектры КЛ в отдельные моменты времени 15 июня 1991 г. совместно с фоновым спектром КЛ (3 марта 1991 г.): сплошная кривая – результаты расчетов спектра в указанные моменты времени, треугольники – данные наблюдений; штриховая кривая – расчетный фоновый спектр, точки – данные наблюдений.

Обсуждение результатов и выводы

Наблюдаемые временные профили вариаций интенсивности КЛ на различных станциях КЛ мировой сети существенно отличаются друг от друга. Так, на высокоширотных и ряде среднеширотных станций (с ЖГО менее ~2–3 ГВ) наблюдалось возрастание интенсивности КЛ на 5–30 % в 10:00 UT 15 июня 1991 г. Максимальное значение повышения интенсивности КЛ было зарегистрировано на антарктической ст. Южный Полус и составило 30 %. На станциях с более высокими ЖГО в этот же период наблюдался спад интенсивности. Следует отметить, что повышение интенсивности КЛ произошло на фазе восстановления форбуш-понижения, начавшегося после геомагнитной бури 13 июня 1991 г.

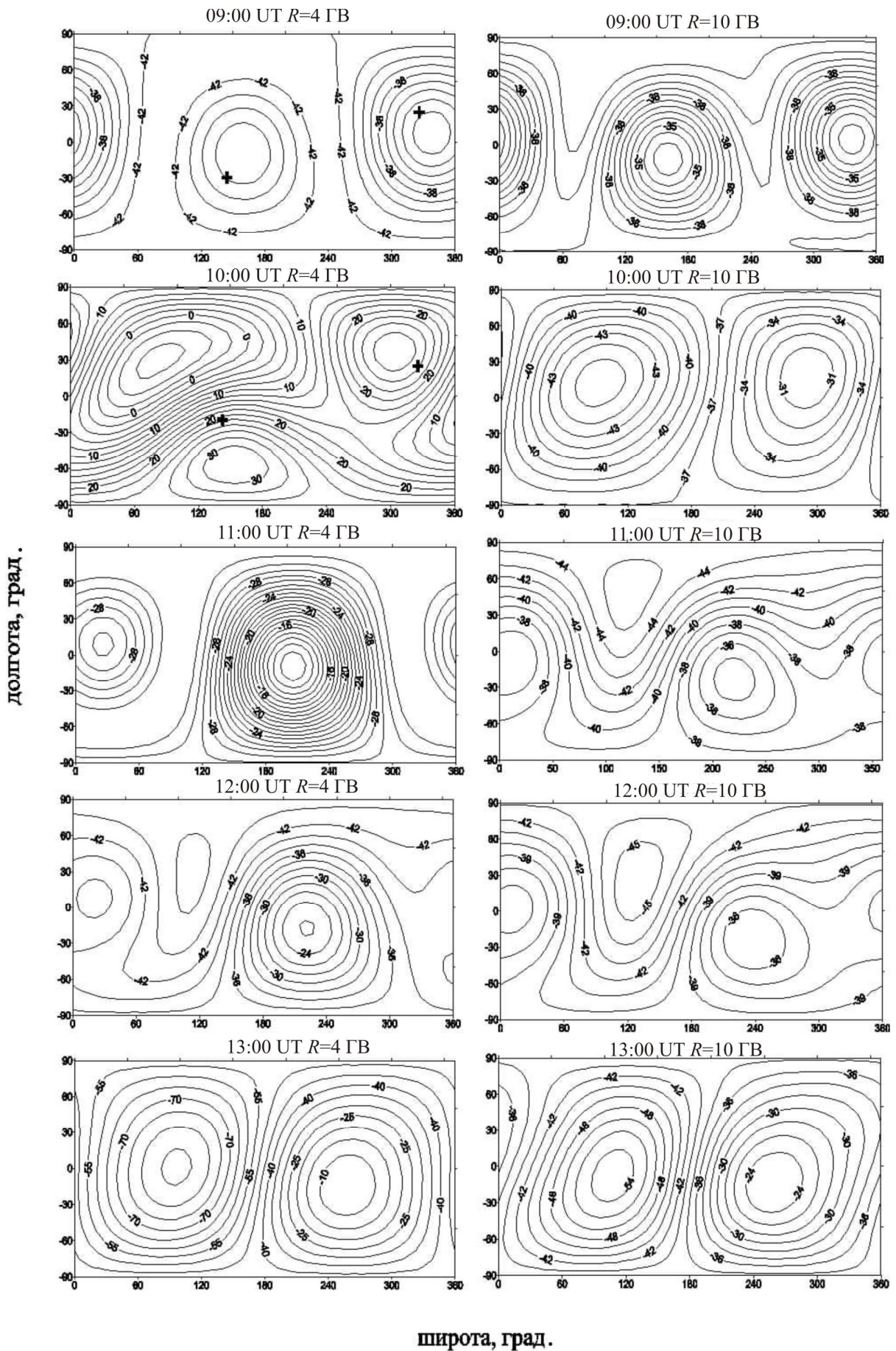


Рис. 1. Относительные изменения интенсивности КЛ с $R=4$ и 10 ГВ в зависимости от асимптотических направлений в солнечно-эклиптической системе координат для различных моментов времени 15 июня 1991 г.

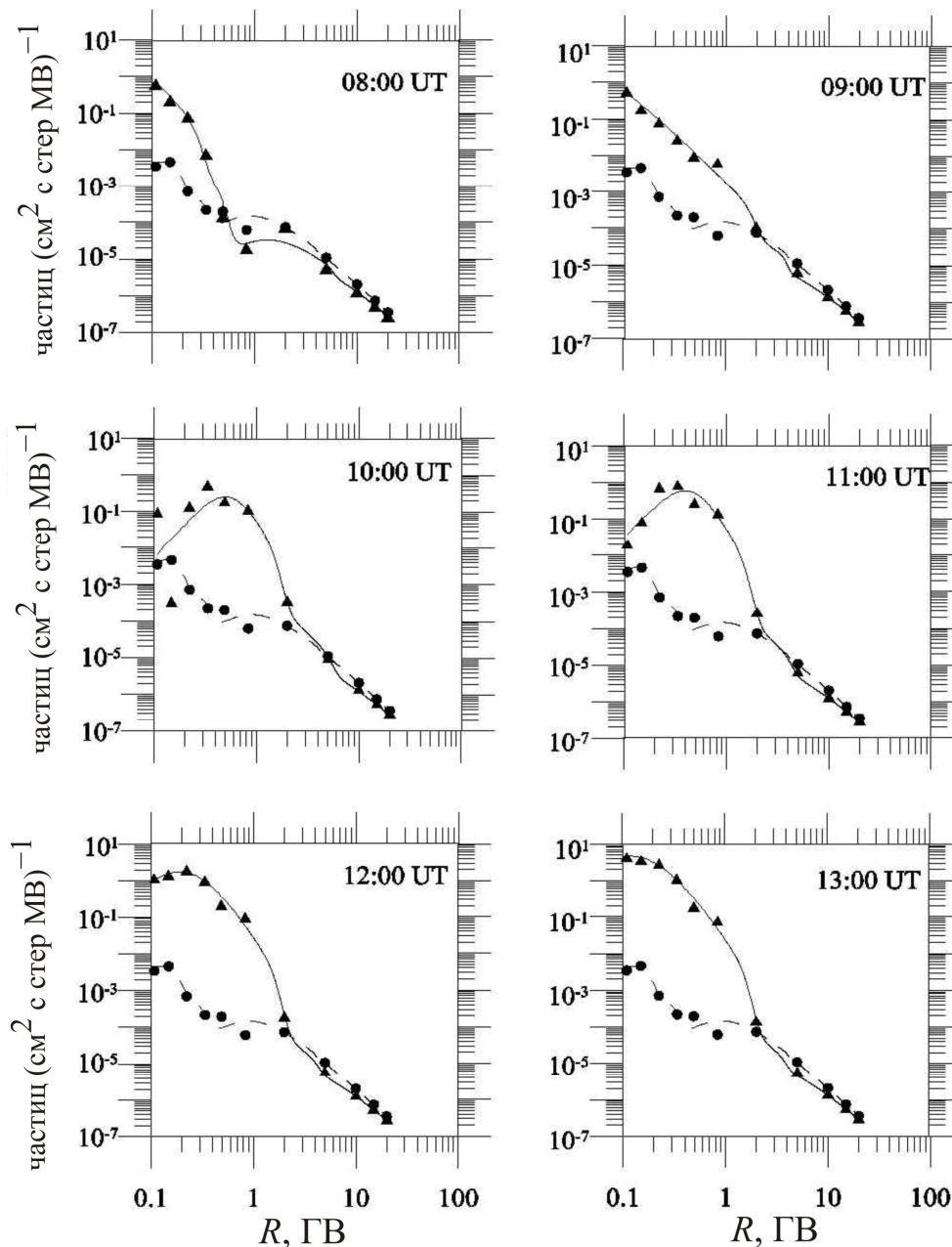


Рис. 2. Дифференциальные жесткостные спектры КЛ в отдельные моменты времени GLE 15.06.1991 г.: сплошная кривая – результаты расчетов модельного спектра в указанные моменты времени, треугольники – данные наблюдений; штриховая кривая – расчетный фоновый спектр, точки – данные наблюдений.

Из анализа рис. 1. следует, что поведение анизотропии относительно стабильное. Так, для частиц с жесткостью $R=4$ ГВ в 09:00–12:00 UT 15 июня 1991 г. наблюдалась вторая гармоника, в момент времени 10:00 UT (во время вспышки) интенсивность КЛ повышена на ~30 % из направления $\psi \sim 150^\circ$, $\lambda \sim -60^\circ$ и из направления $\psi \sim 300^\circ$, $\lambda \sim 40^\circ$ – на ~25 %. В 13:00 (через 2 часа после вспышки) наблюдается первая гармоника, интенсивность КЛ была понижена на ~85 % в направлении $\psi \sim 95^\circ$, $\lambda \sim 0^\circ$. Для частиц с жесткостью $R=10$ ГВ вариации углового распределения идентичны вариациям интенсивности частиц с жесткостью $R=4$ ГВ, за исключением момента времени 10:00 UT (во время максимального возрастания КЛ), когда для частиц жесткостью $R=10$ ГВ доминирует первая сферическая гармоника, в то время как для частиц жесткостью $R=4$ ГВ ярко выражена

двунаправленная анизотропия.

Из рис. 2 видно, что используемый вид спектра хорошо описывает наблюдаемую зависимость интенсивности КЛ от их жесткости на всем анализируемом временном интервале. В 08:00 UT 15.06.1991 г. при жесткостях выше ~0.8 ГВ видно продолжение форбуш-эффекта, который начался 13.06.1991 г. В 09:00 UT началось повышение интенсивности протонов с жесткостями до ~2–3 ГВ, а в 10:00 UT повышенная интенсивность частиц видна до жесткостей ~7–8 ГВ. В это же время в области более высоких энергий наблюдается пониженная относительно спокойного уровня интенсивность частиц. В последующие часы ситуация возвращается к моментам, предшествующим началу GLE.

Тот факт, что возрастание на орбите Земли пото-

ков низкоэнергичных протонов ($\sim 0.8 < R < \sim 2-3$ ГВ) произошло раньше, чем для более энергичных частиц, дает дополнительную информацию для исследования механизмов ускорения СКЛ и их распространения в межпланетном пространстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Банин А.Н., Коваль А.Н. Белые вспышки 15 июня 1991 г. и 26 июня 1999 г. // Изв. Крымской астрофиз. обс. КРАО. 2008. Т. 104, № 1. С. 13–18.
- Белов А.В., Ерошенко Е.А., Янке В.Г. Исключительно большое наземное возрастание солнечных космических лучей 23 февраля 1956 г. по данным нейтронных мониторов // Геомагнетизм и аэрномия. 2005. Т. 45, № 3. С. 359–372.
- Дворников В.М., Сдобнов В.Е. Анализ солнечного протонного события 19 октября 1989 г. методом спектрографической глобальной съемки // Геомагнетизм и аэрномия. 1997. Т. 37, № 2. С. 43–54.
- Дворников В.М., Кравцова М.В., Луковникова А.А., Сдобнов В.Е. Вариации жесткостного спектра и анизотропии космических лучей в период солнечно-протонного события 20 января 2005 г. // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. Труды IX конференции молодых ученых «Физические процессы в космосе и околоземной среде». Иркутск, 2006. С. 207–210.
- Akimov V.V., Ambroz P., Belov A.V. et al. Evidence for prolonged acceleration based on a detailed analysis of the long-duration solar gamma-ray flare of June 15, 1991 // Solar Phys. 1996. V. 166. P. 107–134.
- Dvornikov V.M., Sdobnov V.E., Sergeev A.V. Analysis of cosmic ray pitch-angle anisotropy during the forbush-effect in June 1972 by the method of spectrographic global survey // Proc. 18th ICRC. 1983. Bangalore. India. V. 3. P. 249–252.
- Dvornikov V.M., Sdobnov V.E. Variations in the rigidity spectrum and anisotropy cosmic rays at the period of Forbush effect on the 12–25 June 1982 // IJGA. 2002. V. 3, N 3. P. 217–228.
- Kravtsova M.V., Sdobnov V. E. Cosmic-ray modulation in the heliosphere // Proc 32-d ICRC, Beijing, China, 11–19 August 2011. icrc0060.
<http://spidr.ngdc.gov/spidr/index.html>.
<http://omniweb.gsfc.nasa.gov/>.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск