ИЗМЕНЕНИЯ ЖЕСТКОСТЕЙ ОБРЕЗАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ВО ВРЕМЯ ГЕОМАГНИТНОЙ БУРИ В ИЮНЕ 2015 Г. И ИХ СВЯЗЬ С ПАРАМЕТРАМИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА И ММП

Данилова О.А.¹, Тясто М.И.¹, Сдобнов В.Е.²

¹Санкт-Петербургский филиал ИЗМИРАН, Санкт-Петербург, Россия
md1555@mail.ru

²Институт Солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

COSMIC RAY CUTOFF RIGIDITY CHANGES CAUSED BY THE DISTURBED GEOMAGNETIC FIELD OF THE STORM IN JUNE 2015 AND THEIR RELATION WITH THE INTERPLANETARY AND SOLAR WIND PARAMETERS

Danilova O.A.¹, Tyasto M.I.¹, Sdobnov V.E.²

¹St-Petersburg Filial of IZMIRAN, St. Petersburg, Russia

²Institute of Solar-Terrestrial Physics SO RAN, Irkutsk, Russia

Theoretical vertical effective geomagnetic thresholds were calculated for the period of a strong geomagnetic storm of June 21–25, 2015, by the method of trajectory tracing in the magnetic field of the disturbed Tsyganenko TS01 magnetosphere. The calculated (theoretical) data were compared with the experimental cutoff rigidities obtained by the global spectrographic survey of the data of the worldwide neutron monitor network. This storm is characterized by a solar wind speed of more than 740 km/s and $Dst = -204$ nT. A joint analysis of temporal variations in the theoretical and experimental geomagnetic thresholds and their relationship with the solar wind and IMF parameters was carried out. It has been found that the major contribution to the variations in the geomagnetic CR thresholds during storms comes from ring currents which increase during the storm main phase, i.e., Dst -variation. However, the main features of the magnetosphere dynamics associated with the magnetopause compression by the solar wind, along with the enhancement or decay of the main current systems, also manifest themselves in the CR geomagnetic thresholds. The goal of our study was to investigate relationships between variations in the CR cutoff rigidity and solar wind and IMF parameters.

DOI: 10.31725/0552-5829-2018-135-138

Введение

Климатические изменения последних десятилетий заставляют искать механизмы влияния различных факторов космической погоды на погоду и климат. Одним из важных факторов, определяющих космическую погоду, являются космические лучи (КЛ). Изменения потоков КЛ определяют ионизацию атмосферы, которая связана с такими атмосферными процессами, как, например, образование облачности, гроз, тропических ураганов. Вариации потоков КЛ в магнитосфере во время магнитосферных возмущений обусловлены в основном изменениями жесткости геомагнитного обреза ЖГО (геомагнитных порогов) КЛ и их асимптотических направле-

ний прихода в заданную точку магнитосферы. Теоретические геомагнитные пороги обычно определяют методом расчета траекторий заряженных частиц КЛ в модельном магнитном поле [1]. Метод спектрографической глобальной съемки позволяет разделить наблюдаемые вариации КЛ на внемагнитосферную и магнитосферную части и определить жесткости геомагнитного обрезания на базе исходных экспериментальных данных, полученных на мировой сети станций КЛ [2].

Целью данной работы является исследование ЖГО в период сильного возмущения в межпланетной среде и магнитосфере 21–25 июня 2015 г. и связь их изменений с параметрами солнечного ветра и ММП.

Данные и методы

Мы рассчитали теоретические геомагнитные пороги космических лучей в магнитном поле эмпирической модели магнитосферы Ts01 [3–5] для каждого часа в период 21–25 июня 2015 г. Расчеты проводились для станций, расположенных на разных широтах: ESOI (33,30 N; 35,80 E), Алматы (43,20 N; 76,94 E), Рим (41,90 N; 12,52 E), Иркутск (52,47 N; 104,03 E), Москва (55,47 N; 37,32 E) и Кингстон (42,99 S; 147,29 E), пороговые жесткости которых в спокойное время охватывают область от ~10 до 2 ГВ. Выбор модели Ts01 для расчетов основан на том, что модель TS01 хорошо описывает среднюю магнитосферу во время сильных возмущений.

Экспериментальные геомагнитные пороги в период магнитной бури июня 2015 г. были определены методом спектрографической глобальной съемки (СГС) на основе данных регистрации космических лучей на мировой сети станций [2].

Изменения жесткости геомагнитного обрезания $\Delta R_{\text{эф}}$ и $\Delta R_{\text{сгс}}$ определялись как разности между рассчитанными значениями жесткости обрезания, теоретическими и экспериментальными, и жесткостями в спокойный добуриевой период (2 июня 2015 г.).

Результаты и обсуждение

Результаты расчетов временных изменения геомагнитных порогов приведены на рисунке 1. Изменения теоретических ЖГО $\Delta R_{\text{эф}01}$ на рис. 1 показаны кружками, экспериментальные $\Delta R_{\text{сгс}}$ – крестиками для периода 21–25 июня 2015 г. (172–176 день года); внизу показаны вариации Dst- и Кр-индексов геомагнитного поля, плотности N_{sw} и скорости V_{sw} солнечного ветра.

Геомагнитные пороги выбранных станций 2 июня 2015 г. имели следующие значения: ESOI – 10,2 ГВ, Алматы – 5,95 ГВ, Рим – 6,14 ГВ, Иркутск – 3,11 ГВ, Москва – 2,08 ГВ и Кингстон – 1,8 ГВ.

Из рисунка 1 видно, что в целом вариации порогов $\Delta R_{\text{эф}}$ и $\Delta R_{\text{сгс}}$ слабо отличаются на всех станциях, хотя и наблюдается довольно значительное расхождение (~ 0,6 ГВ) между ними на южно-широтной станции Кингстон

в максимуме бури, а также максимальное расхождение на ст. Москва достигает 0,3 ГВ в 10.00 UT 23 июня. Эти результаты хорошо согласуются с полученными нами результатами по другим бурям [6–8].

Рис. 1. Жесткости обрезания космических лучей в период бури 21–25.06.2015

($\Delta R_{эф}$ 01 – кружки, $\Delta R_{сгс}$ – крестики),

а – ESOI, б – Алматы, в – Рим, г – Иркутск, д – Москва, е – Кингстон.

На рис. 2 представлены диаграммы корреляционных соотношений изменений геомагнитных порогов $\Delta R_{эф}$ с Dst-вариацией, межпланетными параметрами и $\Delta R_{сгс}$. Прежде всего, следует отметить, что корреляция между $\Delta R_{эф}$ и $\Delta R_{сгс}$ составляет $\sim 0,8$ – $0,9$, кроме ст. ESOI, для которой коэффициент корреляции составляет всего 0,54. Кроме того наблюдается довольно хорошая корреляция $\Delta R_{эф}$ с Dst-вариацией (0,9–0,94) и с V ($\sim 0,73$) для всех станций. Коэффициенты корреляции $\Delta R_{эф}$ с B_y и давлением солнечного ветра P_{dyn} невысоки и не превышают 0,2. Коэффициент корреляции с плотностью солнечного ветра и с B_z составляет (0,3–0,4).

Из рис. 3 видно, что эти коэффициенты несколько ниже, чем соответствующие коэффициенты для теоретических жесткостей обрезания косми-

ческих лучей, особенно корреляции $\Delta R_{\text{сгс}}$ с компонентой B_z , коэффициент которой падает с 0,4 до 0,2. Зато корреляция с компонентой B_y увеличивается с 0,1 до 0,3. Самой высокой корреляцией на рис. 3 является корреляция между $\Delta R_{\text{сгс}}$ для ст. Кингстон и Dst, ее величина 0,91, а для ESOI она равна 0,6.

Рис. 2. Корреляции $\Delta R_{\text{эф}}$ с $\Delta R_{\text{сгс}}$, Dst и параметрами солнечного ветра.

Рис. 3. Корреляции $\Delta R_{\text{сгс}}$ с $\Delta R_{\text{эф}}$, Dst и параметрами солнечного ветра.

Выводы

Изменения теоретических геомагнитных порогов $\Delta R_{\text{эф}}$ хорошо коррелируют с Dst вариацией на всех рассмотренных станциях ($\sim 0,9$), в то время как корреляция экспериментальных геомагнитных порогов с Dst-вариацией несколько ниже. Корреляционная связь между B_z и $\Delta R_{\text{эф}}$ не очень высокая ($\sim 0,35$), однако связь между B_z и $\Delta R_{\text{сгс}}$ значительно ниже (0,2). Высокая корреляция наблюдается между экспериментальными и теоретическими пороговыми значениями. Самая низкая – с динамическим давлением солнечного ветра (P_{dyn}) $\sim 0,1$.

Литература

1. Дорман Л.И. и др. Эффективные жесткости обрезания космических лучей – М.: Наука, 1972. – 400 с.
2. Dvornikov V.M. and Sdobnov V.E. // Int. J. Geomagn. Aeron., 2002, V. 3, No 3, 217–228.
3. Tsyganenko N.A. // J. Geophys. Res., 2002, 107, No. A8, 1176. doi:10.1029/2001JA000220
4. Tsyganenko N.A. // J. Geophys. Res., 2002, 107, No. A8, 1179. doi:10.1029/2001JA000219
5. Tsyganenko N.A., H.J. Singer, and J.C. Kasper // J. Geophys. Res., 2003, 108, No. A5, 1209, doi: 10.1029/2002JA009808
6. M.I. Tyasto, O.A. Danilova, N.G. Ptitsyna, V.E. Sdobnov // Journal of Advances in Space Research, 2013, V.51, № 7, pp. 1230-1237. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2012.10.025>
7. Tyasto et al. // J. of Physics: Conf. Series 409 012224. 2013. <http://iopscience.iop.org/1742-6596/409/1/012224>
8. Тясто М.И., Данилова О.А., Сдобнов В.Е. / Материалы XVIII конференции по Солнечной и солнечно-земной физике-2014, с. 427-430.