ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГЕЛИОСФЕРЫ НА ЖЕСТКОСТЬ ГЕОМАГНИТНОГО ОБРЕЗАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ВО ВРЕМЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАЗ МАГНИТНОЙ БУРИ

Птицына Н.Г., Данилова О.А., Тясто М.И.

Санкт-Петербургский филиал ИЗМИРАН, Санкт-Петербург, Россия

INFLUENCE OF THE HELIOSPHERIC PARAMETERS ON THE GEOMAGNETIC CUTOFF RIGIDITY OF COSMIC RAYS DURING VARIOUS PHASES OF A MAGNETIC STORM

Ptitsyna N.G., Danilova O.A., Tyasto M.I.

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

The geomagnetic cutoff rigidity R (momentum per unit charge) is the threshold rigidity below which the particle flux becomes zero due to geomagnetic shielding. The properties of the geomagnetic screen vary greatly during magnetic storms, depending on the dynamic interaction of the solar wind (SW) magnetic fields with the magnetospheric fields and currents. The correlation between the variations of geomagnetic cutoff rigidity ΔR and interplanetary parameters and geomagnetic activity indexes during various phases of the superstorm on November 7–8, 2004 has been calculated. On the scale of the entire storm the most geoeffective parameters were Dst , Kp , and SW speed, while other parameters, including total interplanetary magnetic field B and B_z component, were effective at different phases of the storm.

DOI: 10.31725/0552-5829-2019-329-332

1. Введение

Жесткость геомагнитного обрезания (ЖГО) космических лучей (КЛ), т.е. самой низкой жесткости, которой должна обладать частица, чтобы проникнуть в заданную точку в магнитосфере, определяется магнитосферным магнитным полем, которое ее тормозит. Свойства геомагнитного экрана меняются во времени в зависимости от динамического взаимодействия магнитных и электрических полей солнечного ветра (СВ) с магнитосферными полями и токами. Мы провели анализ корреляций изменений ЖГО с межпланетными параметрами и индексами геомагнитной активности во время каждой из трех фаз развития анализируемой бури — на предварительном этапе, в главной и восстановительной фазах бури. Рассчитаны корреляции вариаций ЖГО ΔR с плотностью N , скоростью V , давлением P солнечного ветра (СВ), общим ММП B и его компонентами B_z , B_y , а также Dst и Kp индексами во время разных фаз супербури 7–8.11.2004 г.

2. Данные и методы

Вариации ЖГО $\Delta R_{\text{эф}}$ и $\Delta R_{\text{сгс}}$ взяты из работ [1, 2], где они были вычислены при помощи (1) метода спектрографической глобальной съемки, при котором определение ЖГО ($R_{\text{сгс}}$) базируется на наблюдательных дан-

ных сети нейтронных телескопов и (2) метода, при котором для определения ЖГО ($R_{\text{эф}}$) численно рассчитываются траектории частиц в модельном магнитном поле магнитосферы.

Параметры СВ, ММП и геомагнитные индексы взяты из базы OMNI на сайте <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>. Коэффициенты корреляции k между $\Delta R_{\text{эф}}$ и $\Delta R_{\text{сгс}}$ и исследуемыми параметрами вычислялись для шести станций КЛ, которые в спокойное время охватывали большую полосу жесткостей обрезания от 11 до 2 ГВ: Токио, Алматы, Рим, Иркутск, Москва и Хобарт. Затем k усреднялись по всем станциям.

3. Супербура 7–8 ноября 2004 г.

На рис. 1 приведены изучаемые параметры 7–8 ноября 2004 г.

Рис. 1. Вариации жесткостей обрезания, параметров солнечного ветра, межпланетного магнитного поля ММП и геомагнитной активности 7–8 ноября 2004 г.

$\Delta R_{\text{эф}}$ (открытые кружки) и $\Delta R_{\text{сгс}}$ (крестики) для станции Москва;
 B_z – черные кружки, B_y – треугольники.

На основе анализа особенностей магнитной бури мы разбили ее временной период на три фазы: предварительная фаза, т.е. период перед бурей с 03:00 по 19:00 UT 07.11.04, главная фаза с 20:00 UT 07.11.04 по 06:00 UT 08.11.04, фаза восстановления 07:00 – 24:00 UT 08.11.04.

4. Наиболее эффективные параметры

Мы проанализировали глобальное поведение тех параметров, которые наиболее существенно влияют на вариации геомагнитных порогов, вне зависимости от широтных эффектов. Для этого на рис. 2 приведены параметры, для которых усредненные по всем станциям значения коэффициента корреляции $|k| \geq 0.50$ для $\Delta R_{\text{эф}}$ и $\Delta R_{\text{сгс}}$ или хотя бы для одного из них. На рис. 2 представлены наиболее значительные корреляции между ΔR и параметрами ММП, солнечного ветра и геомагнитной активности во время каждой из фаз, а также на масштабе всей бури. Кроме того, последний столбик K изображает коэффициент корреляции между $\Delta R_{\text{сгс}}$ и $\Delta R_{\text{эф}}$. Эти рисунки показывают эволюцию отклика ЖГО на изменения наиболее геоэффективных параметров СВ, ММП и геомагнитной активности в процессе развития магнитной бури.

Рис. 2. Корреляции изменений ЖГО ($\Delta R_{\text{сгс}}$ и $\Delta R_{\text{эф}}$) с параметрами гелиосферы и геомагнитного поля, а также коэффициент корреляции K между $\Delta R_{\text{сгс}}$ и $\Delta R_{\text{эф}}$ для бури 7–8.11.2004 и всех ее фаз. а) – перед бурей, б) – главная фаза, в) – восстановительная фаза, г) – вся буря.

Видно, что вариации $\Delta R_{\text{сгс}}$ и $\Delta R_{\text{эф}}$, полученные двумя разными методами, в целом согласуются между собой. Однако иногда они отличаются: например, на предварительной фазе (рис. 2а) By является геоэффективным параметром для $\Delta R_{\text{эф}}$, но не для $\Delta R_{\text{сгс}}$, а для всей бури (рис. 2г) обратная ситуация наблюдается для давления, которое существенно влияет только на $\Delta R_{\text{сгс}}$.

Рис. 2 демонстрирует, что наиболее сильная связь ΔR наблюдается с Dst , причем она прослеживается на всем протяжении бури, на всех ее фа-

зах, достигая максимума в период главной фазы (среднее $k = 0.88 \pm 0.09$ для $\Delta R_{\text{сгс}}$ и 0.98 ± 0.07 для $\Delta R_{\text{эф}}$). В период восстановления значения k лишь слегка уступают по величине k для главной фазы. Влияние Kp на ΔR меньше, и оно начинается лишь на главной фазе: для $\Delta R_{\text{сгс}}$ и $\Delta R_{\text{эф}}$ ($\Delta R_{\text{сгс}}/\Delta R_{\text{эф}}$) на главной фазе $k = -0.70 \pm 0.18/-0.70 \pm 0.28$, на восстановительной фазе $k = -0.61/-0.86 \pm 0.14$.

Все динамические параметры СВ оказываются геоэффективными во время главной и восстановительной фаз, причем плотность ветра N показывает значительную связь с ΔR на всех трех фазах бури. На главной фазе (рис. 2б) доминирует влияние N ($\Delta R_{\text{сгс}}/\Delta R_{\text{эф}}$: $0.76 \pm 0.16/0.83 \pm 0.22$) и P ($0.73 \pm 0.17/0.80 \pm 0.23$), а на восстановительной (рис. 2в) – влияние V ($-0.71 \pm 0.13/-0.83 \pm 0.15$).

В то же время ММП практически не влияет на геомагнитные пороги ни на предварительной, ни на главной фазе анализируемой бури (рис. 2). Только во время восстановительной фазы наблюдается существенная связь ΔR как с общим полем B , так и с его компонентами. Причем, отклик ΔR на изменения компонент разнонаправленный: видна прямая корреляция ΔR с Bz и антикорреляция — с B_y .

5. Заключение

На масштабе всей бури 7–8.11.04 наиболее геоэффективными оказались Dst , Kp и динамические параметры СВ, в то время как на разных фазах бури наблюдалось влияние различных параметров, включая общее ММП B и его компоненты. При этом похожая картина наиболее значительных коэффициентов корреляции, которая характерна для всей бури, фиксировалась во время главной фазы. Различная чувствительность ΔR к параметрам СВ, ММП и геомагнитной активности на разных этапах бури связана с тем, что в это время в ответ на изменения параметров СВ и ММП развиваются глобальные токовые системы (кольцевой ток вокруг Земли, токи на магнитопаузе, токи хвоста магнитосферы, токи в высоких широтах), которые эволюционируют во времени. При этом формирование, интенсификация и распад этих токовых систем происходит на различных временных масштабах. Это приводит к различному относительному вкладу токовых систем в ΔR и определяет специфический отклик ЖГО на изменения параметров гелио- и гео- магнитосферы на разных фазах бури.

Литература

1. Птицына Н. Г., Данилова О. А., Тясто М. И., Сдобнов В.Е. Влияние параметров солнечного ветра и геомагнитной активности на вариации жесткости обрезания космических лучей во время сильных магнитных бурь // Геомагнетизм и Аэрономия. Т. 59. № 5, с. 569–577. 2019.
2. Tyasto M.I., Danilova O.A., Ptitsyna N.G., Sdobnov V.E. Variations in cosmic ray cutoff rigidities during the great geomagnetic storm of November 2004// Adv. Space Res. V. 51. N 7. P. 1230–1237. 2013.