

УДК 523.745+539.1633

## ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МЕЖПЛАНЕТНОЙ СРЕДЫ И ИЗМЕНЕНИЯ ЖЕСТКОСТЕЙ ГЕОМАГНИТНОГО ОБРЕЗАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В НОЯБРЕ 2004 г.

В.М. Дворников, М.В. Кравцова, А.А. Луковникова, В.Е. Сдобнов

### INTERPLANETARY SPACE PARAMETER VARIATIONS AND CHANGES OF GEOMAGNETIC CUT-OFF RIGIDITIES OF THE COSMIC RAYS IN NOVEMBER 2004

V.M. Dvornikov, M.V. Kravtsova, A.A. Lukovnikova, V.E. Sdobnov

По данным наземных и спутниковых измерений интенсивности космических лучей (КЛ) исследованы вариации жесткостного спектра протонов в энергетическом диапазоне от 15 МэВ до десятков ГэВ. Определены параметры модельного жесткостного спектра КЛ за каждый час наблюдений, и по их значениям произведена оценка характеристик электромагнитных полей солнечной короны и гелиосферы, ответственных за мощное спорадическое явление в ноябре 2004 г.

Using the data of ground-based and satellite measurements of the cosmic ray (CR) intensity we have investigated variations of the rigidity spectrum of protons in a energy range from 15 MeV to tens GeV. Parameters of the model rigidity spectrum of CRs are determined for every hour of observation. Using their values we have estimated the characteristics of electromagnetic fields of the solar corona and a heliosphere that were responsible for powerful sporadic phenomenon in November 2004.

Проблема спорадических процессов на Солнце, сопровождающихся выбросами в межпланетное пространство высокоскоростной плазмы солнечного ветра (СВ), электромагнитным излучением в широком диапазоне частот и генерацией высокоэнергичных частиц в широком диапазоне энергий, является одной из наиболее актуальных проблем солнечно-земной физики, так как именно этими процессами обусловлены экстремальные возмущения в межпланетном пространстве, магнитосфере Земли и потоках радиационного излучения.

В предлагаемой работе исследованы эффекты КЛ при экстремальных возмущениях в гелиосфере в ноябре 2004 г. с целью изучения взаимосвязи между временными вариациями параметров жесткостного спектра КЛ и параметрами межпланетной среды.

Для анализа использовались данные наблюдений интенсивности протонов в энергетических диапазонах 15–40, 40–80, 80–165 и 165–500 МэВ, полученные на спутнике GOES-10 [1], и данные о вариациях интенсивности КЛ различных жесткостей, полученные методом спектрографической глобальной съемки (СГС) [2] по наземным измерениям на мировой сети нейтронных мониторов (38 станций). Метод СГС позволяет получать информацию о вариациях углового и энергетического распределения первичных КЛ за пределами магнитосферы Земли, а также об изменениях планетарной системы жесткостей геомагнитного обреза за каждый час наблюдений.

Для описания жесткостного спектра КЛ в широком диапазоне энергий использовалось выражение, полученное в работе [3].

На рис. 1 показано, как используемое выражение для жесткостного спектра КЛ удовлетворяет данным наблюдений временных профилей интенсивности частиц различных жесткостей, где точками на графиках приведены данные наблюдений, а сплошной кривой – результаты расчетов.

На рис. 2 приведены (сверху вниз): параметры жесткостного спектра КЛ  $R_0$ ,  $\Delta\epsilon_1$ ,  $\Delta\epsilon_2$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $D_{st}$ -индекс (совместно с изменениями ЖГО –  $\Delta R$ ). На графике параметра  $\beta$  дополнительно приведены (жирной

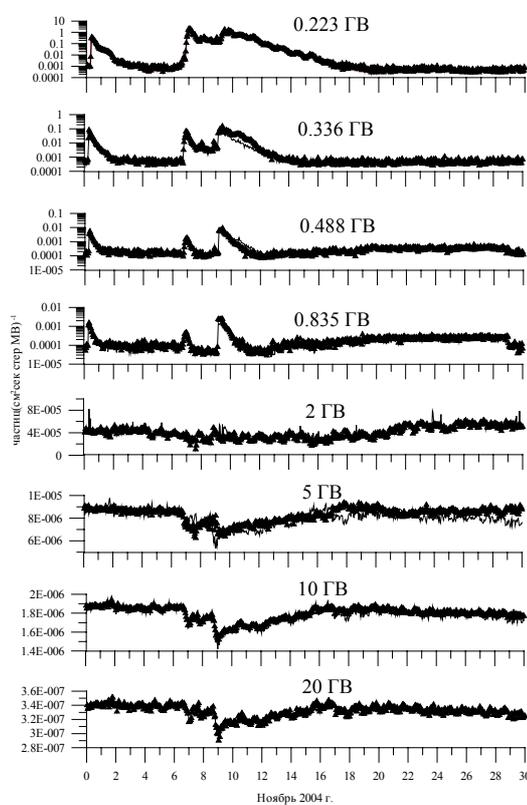


Рис. 1.

кривой) значения скорости СВ, а на графике  $\Delta\epsilon_1$  (также жирной кривой) – модуль ММП.

Как видно из рисунка, временные профили изменений ЖГО при  $R_c = 4$  GV соответствуют изменениям  $D_{st}$ -индекса. При сравнении видно, что максимальные понижения пороговых жесткостей в периоды магнитных бурь наблюдались одновременно с минимальными значениями  $D_{st}$ -индекса.

При сравнении поведения параметра  $\beta$  с поведением скорости СВ обращает на себя внимание то обстоятельство, что изменение скорости СВ происходит, как правило, в соответствии с вариациями параметра  $\beta$ , из чего следует, что ускорение СВ и

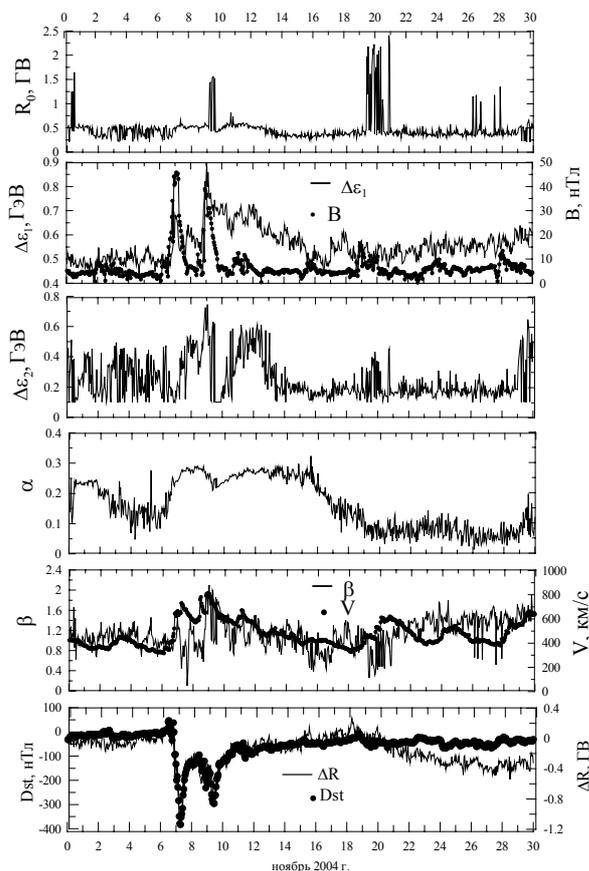


Рис. 2.

ускорение КЛ происходит под действием одних и тех же механизмов.

Процесс ускорения КЛ и плазмы СВ в гелиосфере может происходить по следующему сценарию: в системе координат, покоящейся относительно вращающегося источника с магнитным полем (Солнца), возникает результирующая э.д.с., равная разности потенциалов между полюсом и экватором. В том случае, когда в источнике происходит локальное «всплывание» потока магнитного поля, в гелиосфере возникает электрическое поле, возрастающее во времени, и возникает полярizationный дрейф частиц, направленный вдоль этого поля, что приводит к ускорению частиц и возникновению в связи с этим токовой системы, генерирующей магнитное поле петлеобразной структуры в гелиосфере. Возрастающее во времени магнитное поле данной структуры обуславливает дрейф частиц внутри

этой структуры и их ускорение за счет бетатронного механизма. При возрастании токов, формирующих данные структуры, до критических значений может произойти разрыв токовой цепи вследствие той или иной неустойчивости, сопровождающийся из-за большой ее индуктивности взрывным процессом с высыпанием ускоренных частиц в солнечную атмосферу и выходом в межпланетное пространство. Распространяясь в неоднородных полях солнечной короны и гелиосферы, пучок ускоренных частиц поляризуется из-за того, что протоны и электроны дрейфуют в противоположные стороны, в результате чего при пространственной неоднородности плотности ускоренных частиц происходит разделение зарядов и возникает разность потенциалов между границами пучка вдоль траекторий магнитного дрейфа, что приводит к генерации возрастающего во времени полярizationного электрического поля и, как следствие этого, полярizationного дрейфа фоновых частиц плазмы СВ, солнечной короны и ГКЛ вдоль данного поля, т.е. к ускорению частиц, ларморовский радиус которых меньше размеров данных структур. Вновь формируется токовая система и генерируется магнитное поле, ускоряющее частицы, и т.д. Таким образом происходит обмен энергией между ускоренными частицами и фоновыми частицами плазмы солнечной короны, СВ и ГКЛ, формирование за счет этого токовых структур гелиосферы и генерация структур ММП, т.е. процесс ускорения и распространения частиц в гелиосфере является самосогласованным с электромагнитными полями.

Предлагаемая модель позволяет объяснить широкий спектр явлений при КВМ (вариации жесткостного спектра и анизотропии КЛ, отсутствие дисперсии в начальной фазе возрастания интенсивности КЛ различных энергий для отдельных событий, форбуш-эффектов и т.д.).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://spidr.ngdc.gov/spidr/index.html/>
2. Дворников В.М., Сдобнов В.Е., Юдина М.В. // Космические исследования. 2003. Т. 42, № 6. С. 645–652.
3. Дворников В.М., Кравцова М.В., Сдобнов В.Е. // Настоящий сборник. С. 167–169.
4. Альвен Х. Космическая плазма. М.: Мир, 1983. 213 с.