

А. И. КУПЧИШИН, А. Ж. НАУРЗБАЕВА, Е. А. ЧЕБАКОВА

АНИЗОТРОПИЯ, РАДИАЛЬНЫЕ ГРАДИЕНТЫ ПЛОТНОСТИ СКЛ И ДИАГНОСТИКА ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АТМОСФЕРЫ

Исследована N-S асимметрия солнечных космических лучей (СКЛ) для 10 вспышек, произошедших с 1997 по 2002 г. Расчет N-S асимметрии проводился на основе данных нейтронных мониторов (НМ) мировой сети станций. Изучены изменения радиальных градиентов плотности СКЛ с изменением межпланетного магнитного поля (ММП) и N-S асимметрией. Показано, что V_y -составляющая ММП при N-S асимметрии, близкой к нулю, оказывает определяющее влияние на радиальные градиенты плотности СКЛ.

Исследование солнечных космических лучей имеет важное значение для получения информации об электромагнитных и радиационных условиях в околосолнечном, межпланетном и околоземном космическом пространстве. В частности, ценную информацию дает изучение распределения солнечных космических лучей на основе исследования северо-южной анизотропии.

При исследовании анизотропии СКЛ во время вспышек было обнаружено, что существует

перпендикулярная составляющая вектора анизотропии, зависящая от межпланетного магнитного поля, т.е. N-S асимметрия.

Явление северо-южной асимметрии заключается в том, что на станциях, асимптотические направления которых образуют существенно различные углы с нормалью к плоскости переднего фронта ударной волны, образованной во время вспышки на Солнце, регистрируются различные значения СКЛ. Наибольшее различие в величине

эффектов следует ожидать для станций, расположенных в разных (северном и южном) полушариях Земли.

Для исследования N-S асимметрии использовались данные регистрации интенсивности СКЛ, полученные мировой сетью станций нейтронных мониторов, расположенных в антисимметричных высокоширотных точках в северном и южном полушариях.

Для определения амплитуды N-S асимметрии была использована расчетная формула:

$$A_{N-S} = (A_N - A_S), \quad (1)$$

где $A_N = 100\% \cdot (N_{IN} - \langle N_N \rangle) / \langle N_N \rangle$ – амплитуда возрастания интенсивности СКЛ на станции в северном полушарии Земли, N_{IN} – часовые (или 5-минутные) значения интенсивности СКЛ, $\langle N_N \rangle$ – средние значения интенсивности СКЛ, полученные на этой станции до начала возрастания. $A_S = 100\% \cdot (N_{IS} - \langle N_S \rangle) / \langle N_S \rangle$ – амплитуда возрастания интенсивности СКЛ на станции в южном полушарии Земли, где N_{IS} – часовые (или 5-минутные) значения интенсивности СКЛ, $\langle N_S \rangle$ – средние значения до начала возрастания интенсивности СКЛ, полученные на этой станции.

С 1997 по 2002 г. наблюдался ряд солнечных протонных событий, когда НМ регистрировали значительные увеличения интенсивности СКЛ. В табл. 1 для этих событий указаны дата, координаты и начало вспышки в H_α -линии.

Таблица 1. Список вспышек в 23 цикле солнечной активности

№ п/п	Дата	Координаты вспышки	Начало вспышки в H_α -линии (UT)
1	06.11.1997	S18 W63	11:49
2	02.05.1998	S15 W15	13:31
3	06.05.1998	S11 W65	07:58
4	24.08.1998	N30 E07	21:50
5	14.07.2000	N22 W07	10:03
6	15.04.2001	S20 W85	13:19
7	18.04.2001	S20 W115	02:11
8	04.11.2001	N06 W18	16:03
9	26.12.2001	N08 W54	04:32
10	24.08.2002	S20 W85	00:50

Анализ результатов расчета N-S асимметрии, проведенного по формуле (1), показал, что для событий 06.05.1998г., 24.08.2002г. N-S асимметрия положительна, для событий 06.11.1997г., 14.07.2000г., 15.04.2001г., 04.11.2001г., 26.12.2001г. отрицательна, а для события 24.08.1998г. близка

к нулю. На рис. 1 приведены временные профили и N-S асимметрия для вспышек 14.07.2000г. и 15.04.2001г. по 5-минутным данным НМ Оулу и Санае, характеристики которых приведены в табл. 2. Эти события имеют наибольшую амплитуду возрастания из приведенных в табл. 1. Из рис. 1 видно, что N-S асимметрия в событии 15.04.2001г. достигает 80%.

Имея в распоряжении данные об N-S асимметрии СКЛ и привлекая данные по межпланетному магнитному полю, можно рассчитать радиальные градиенты плотности СКЛ. Дело в том, что анизотропия космического излучения (КИ) может быть записана [1] как

$$A = \frac{\rho_L}{B} [\vec{B} \times \vec{G}] = \frac{R}{B^2} [\vec{B} \times \vec{G}], \quad (2)$$

где A – анизотропия КИ, ρ_L – ларморовский радиус, R – жесткость, B – магнитное поле, G – градиент плотности КИ. Анизотропию удобно выражать в %, G – в %/а. е.

Записывая уравнение (2) для восточно-западной и северо-южной компонент анизотропии, можно получить удобные для применения соотношения между радиальным градиентом и анизотропией:

$$G_r = -\frac{A_{NS} \cdot B^2}{R \cdot B_y}, \quad (3)$$

где B_y – у-составляющая ММП.

По формуле (3) с привлечением данных измерения межпланетного магнитного поля на космическом аппарате ACE (ftp://nssdc.gsfc.nasa.gov/pub/spacecraft_data/omni) были рассчитаны радиальные градиенты плотности СКЛ для исследуемых событий, сопровождавшихся генерацией частиц высоких энергий. Градиенты найдены до максимума интенсивности временного профиля СКЛ, когда наблюдается высокая анизотропия СКЛ, в максимуме и в течение спада интенсивности СКЛ, когда поток становится изотропным. Расчеты показали, что радиальные градиенты плотности СКЛ могут изменяться в широких пределах для разных вспышек и принимать как положительные, так и отрицательные значения. На рис. 2 приведены результаты расчета радиальных градиентов плотности СКЛ для событий 18.04.2001г., 26.12.2001г. и 15.04.2001г. Как видно из рисунка, для вспышки 18.04.2001 N-S асимметрия близка к нулю и радиальные градиенты

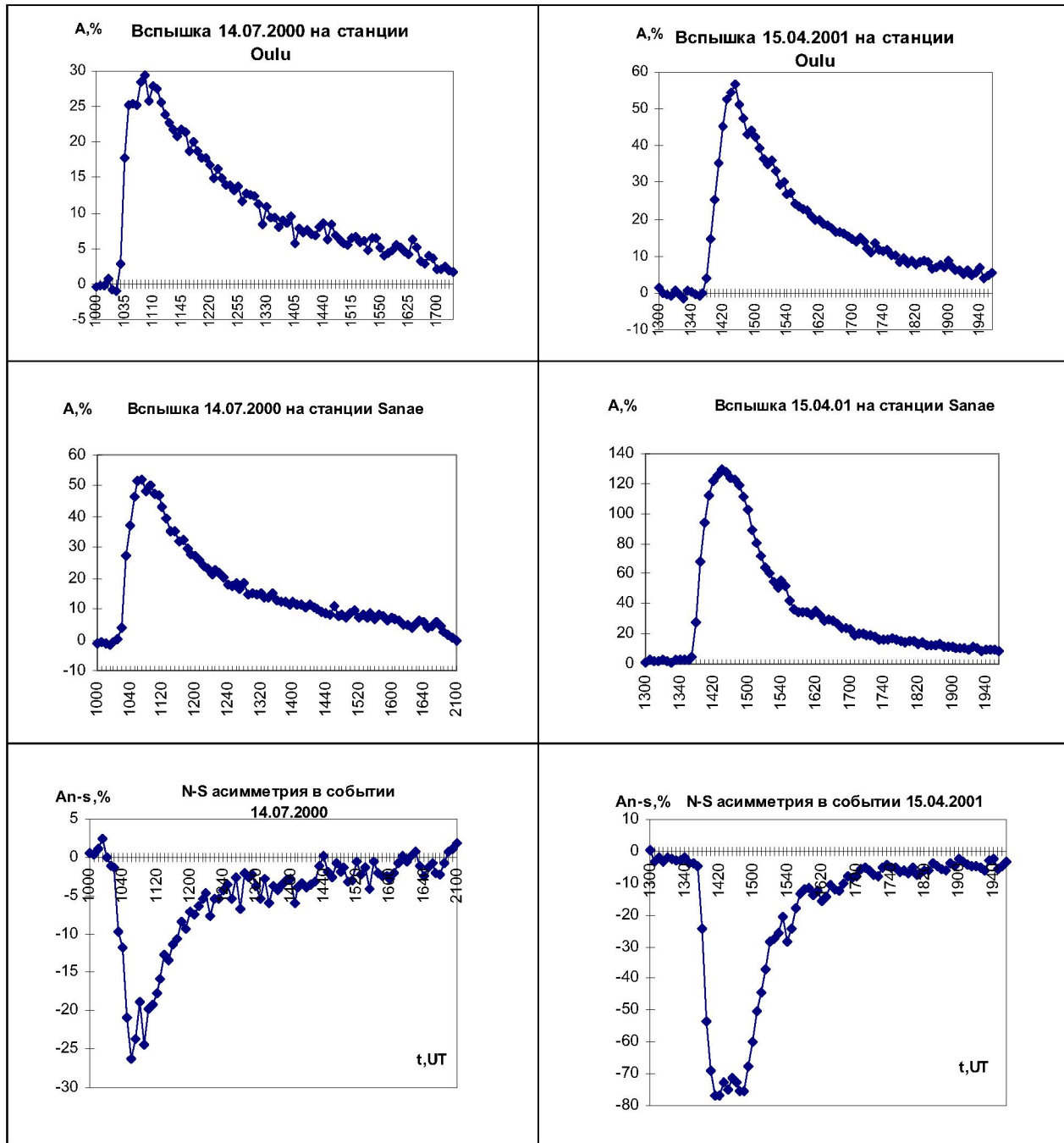


Рис. 1. Временные профили и N-S асимметрия для вспышек 14.07.2000г. и 15.04.2001г.

Таблица 2. Список станций нейтронных мониторов

Станция НМ	Географическая широта, град	Географическая долгота, град	Жесткость геомагнитного обрезания
Oulu	65.06N	25.47E	0.77 ГВ
Sanae	70.31S	2.40W	0.91 ГВ

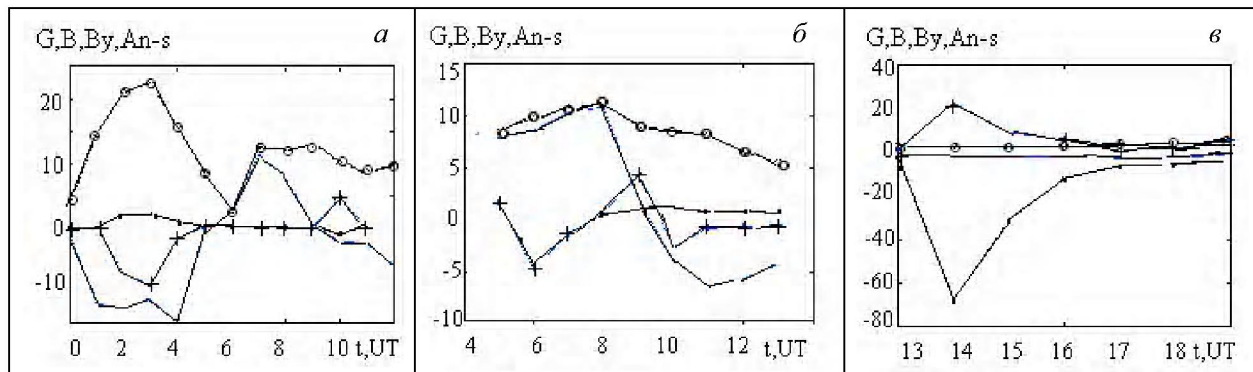


Рис. 2. Анизотропия и радиальные градиенты плотности СКЛ во вспышках 18.04.2001г. (а), 26.12.2001г. (б), 15.04.2001г. (в). Точками отмечена N-S асимметрия, крестиками – радиальные градиенты плотности СКЛ, кружками – модуль напряженности ММП, сплошными кривыми – у-составляющая ММП

плотности СКЛ определяются значениями у-составляющей ММП. Для большинства вспышек, для которых N-S асимметрия имеет значительную величину, например в событии 26.12.2001г. радиальные градиенты плотности повторяют ход N-S асимметрии. Для события 15.04.2001г. имеет место аналогичная зависимость, хотя радиальные градиенты и N-S асимметрия изменяются в противофазе, это определяется отрицательными значениями у-составляющей ММП, но по модулю изменение градиентов происходит одновременно с изменением N-S асимметрии.

Наблюдаемые эффекты можно объяснить с позиции анизотропной диффузии с учетом дрейфа частиц, когда присутствует анизотропия в давлении “газа” СКЛ и есть составляющие тока в результате магнитного и криволинейного дрейфов СКЛ [2–5].

Проявление эффектов N-S асимметрии в СКЛ наблюдается в оптических явлениях атмосферы Земли, таких, как полярные сияния. Полное число ускоренных протонов, вышедших в межпланетное пространство во время вспышек, может превышать 10^{32} . Кроме того, во вспышках генерируются ядра с зарядом $Z \geq 2$ и электроны. Все эти заряженные частицы могут вызвать усиление полярных сияний. Если наблюдается положительная N-S асимметрия, усиление полярных сияний будет наблюдаться в северном полушарии Земли, если $N-S < 0$, то в южном. При этом необходимо учитывать действие двух механизмов, во-первых, за счет непосредственного взаимодействия СКЛ с атмосферой Земли на больших широтах, во-вторых, за счет дополнительного высыпания заряженных частиц из радиационных

поясов из-за изменения конфигурации магнитного поля Земли от ударной волны, образованной во время вспышки. Следует заметить, что по данным нейтронной компоненты космических лучей, регистрируемой во время вспышек на Солнце, можно осуществлять диагностику ряда оптических явлений в атмосфере Земли, например полярных сияний.

Таким образом, анализ событий 23 цикла солнечной активности показывает, что для большинства вспышек наблюдается отрицательная N-S асимметрия СКЛ. Радиальные градиенты плотности для вспышек с N-S асимметрией, близкой к нулю, определяются у-составляющей ММП. Вспышки СКЛ, характеризующиеся высокой анизотропией, отличаются тем, что изменение радиальных градиентов плотности СКЛ подобно изменению N-S асимметрии СКЛ [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Bieber J.W., Pomerantz M.A. Solar cycle variation of cosmic-ray north-south anisotropy and radial gradient // *The Astrophysical Journal*. 1986. V. 303. P. 843-848.
2. Айтмухамбетов А.А., Брузгулис А.В., Коломеец Е.В. и др. N-S асимметрия космических лучей и солнечной активности в гелиомагнитном цикле // *Исследование космических лучей в широком диапазоне энергий*. Алма-Ата, 1991. С. 102-133.
3. Коломеец Е.В., Севостьянов В.Н. Эффекты дрейфа солнечных космических лучей в межпланетном магнитном поле // *Геом. и аэроном.* 1988. Т. 28, № 3. С. 360-367.
4. Дорман Л.И. Вариации галактических космических лучей. М.: МГУ, 1975. 214 с.
5. Чебакова Е.А. N-S асимметрия солнечных космических лучей // *Радиационные процессы*. Алматы, 2002. С. 89-93.
6. Чебакова Е.А. Энергетические спектры и радиальные градиенты плотности СКЛ, генерированных во время вспышек на Солнце // *Вестник КазНУ. Сер. физ.* 2003. №1(14). С. 146-148.

Резюме

1997 жылдан 2002 жылға дейін болған 10 күн жарқ ету үшін Күннің ғарыштық сәулеленуінің (КҒС) N-S асимметриясы зерттелген. N-S асимметрия нейтрондық мониторлар станцияларының дүние жүзілік желісінің мәліметтері негізінде есептелген. КҒС тығыздығының радиал градиенттерінің планетааралық магнит өрісі (ПМӨ) мен N-S асимметрияның өзгеруіне байланысты өзгеруі зерттелген. N-S асимметрия нольге жақын болған жағдайда ПМӨ-нің B_y құраушысы КҒС тығыздығының радиал градиенттеріне анықтаушы әсер ететіні көрсетілген.

Summary

Investigation of N-S asymmetry of solar cosmic ray for 10 flares during 1997-2002 years was carried out. Calculation of N-S asymmetry was made on the base of neutron monitors data of world net stations. Research of behavior of radial gradients of SCR density in dependence on variations of interplanetary magnetic field (IMF) and N-S asymmetry was conducted. It was showed that B_y component of IMF have definitive influence on radial gradients of SCR density.

*Казахский национальный университет
им. аль-Фараби, г. Алматы
17.11.05г.*

Поступила