

Қантай Г.Ф., Кенжина И.Е.,
Чебакова Е.А., Борецкий О.М.

**Исследование
пространственного
распределения солнечных
космических лучей**

В работе были исследованы изменения N-S асимметрии солнечных космических лучей (СКЛ) во время вспышек на Солнце и рассчитаны радиальные градиенты плотности СКЛ для солнечных вспышек 23-24 циклов солнечной активности. Исследование распространения СКЛ в межпланетном магнитном поле (ММП) показали, что радиальные градиенты плотности СКЛ повторяют ход N-S асимметрии для вспышек с отрицательной и нулевой анизотропией, а для вспышек с положительными значениями N-S асимметрии – радиальные градиенты плотности СКЛ и N-S асимметрия изменяются в противофазе.

Ключевые слова: солнечная вспышка, N-S асимметрия, радиальные градиенты.

Kantay G.G., Kenzhina I.E.,
Chebakova E.A., Boretskiy O.M.

**Investigation of spatial
distribution of solar cosmic rays**

In this paper N-S asymmetry of solar cosmic rays (SCR) change were investigated during solar flares and radial density gradients for solar flares of 23-24 cycles of solar activity were calculated. Investigation of SCR propagation in interplanetary magnetic field (IMF) showed that the radial density gradients of SCR repeated stroke N-S asymmetry for flares with negative and zero anisotropy and for flares with positive values for N-S asymmetry – radial gradients and N-S asymmetry varies in anti-phase.

Key words: solar flare, N-S asymmetry, radial gradients.

Қантай Г.Ф., Кенжина И.Е.,
Чебакова Е.А., Борецкий О.М.

**Күнғарыштық сәулелерінің
кеңістік бөлуінің зерттеуі**

Бұл жұмыста күндегі тұтану кезіндегі күнғарыштық сәулелерінің (КФС) N-S асимметрииінің өзгерістері зерттелді және 23-24 күн белсенділігі циклдарының күн тұтануға арналған КФС-інің тығыздығының радиалды градиенттері есептелді. КФС-дің планетааралық магнит кеңістіктегі таралуының зерттеуі теріс және нөлді канизотропиясымен күнтұтануларға арналған КФС-інің тығыздығының радиалды градиенттері N-S асимметрииінің қадамын қайталайды, ал N-S асимметрииінің оңанизотропиясымен радиалды градиенттері және N-S асимметрииісі теріс фазада өзгеренің көрсетеді.

Түйін сөздер: күнтұтану, N-S асимметрия, радиалградиенттер.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

Введение

Исследование солнечных вспышек представляет большой интерес для понимания физических процессов на Солнце, природы циклов солнечной активности, механизмов обращения магнитного поля Солнца. Мощные протонные вспышки являются одним из проявлений солнечной активности. Основные процессы, определяющие солнечную активность, разыгрываются в солнечном пятне и в его ближайших окрестностях. Появление же вспышек тем более будет вероятно, чем сложнее магнитная конфигурация и чем быстрее она меняется. Проводятся различные исследования солнечных вспышек. Последние десятилетия сразу несколько космических обсерваторий пристально наблюдают за Солнцем с помощью рентгеновских и УФ – телескопов. Комплексный анализ полученных экспериментальных данных дает конкретную информацию о таких важных характеристиках процесса ускорения, как условия в области ускорения частиц (концентрация плазмы, напряженность магнитного поля, размеры); энергетический спектр, состав и угловое распределение ускоренных частиц, длительность ускорительного процесса, взаимосвязь процессов ускорения легких и тяжелых частиц, характер их распространения, взаимодействия частиц со средой [1].

Ценную информацию дает изучение распределения солнечных космических лучей на основе исследования северо-южной анизотропии. За всю историю непрерывной регистрации различных компонент интенсивности космических лучей до настоящего времени зарегистрированы 71 большие вспышки. Как показал анализ этих событий, в ряде из них наблюдалась высокая анизотропия. Представляет интерес исследование анизотропных характеристик вспышек и радиальных градиентов плотности солнечных космических лучей [2].

Исследование N-Сасимметрии

Суть явления N-S асимметрии заключается в следующем, что на станциях, асимптотические направления которых образуют различные углы с нормалью к плоскости пе-

реднего фронта ударной волны, образованной во время вспышки на Солнце, регистрируются различные значения интенсивности СКЛ. Наибольшее различие в величине эффектов можно зарегистрировать на станциях, расположенных в разных (северном и южном) полушариях Земли.

Для расчета и анализа N-S асимметрии СКЛ были выбраны две станции нейтронных мониторов(НМ): НМ Oulu (Финляндия), кото-

рый находится в северном полушарии, и НМ Sanae (Антарктида), который соответственно находится в южном полушарии. В таблице 1 указаны их географические координаты, а также жесткость геомагнитного обреза.

За период с 1998 г. по 2012 г. наблюдался ряд протонных вспышек (GLE), когда НМ регистрировали возрастание интенсивности СКЛ. В таблице 2 указаны дата, координаты и начало вспышки в H_α-линии для этих событий.

Таблица 1 – Список станций нейтронных мониторов

Название станции НМ	Географическая широта, град.	Географическая долгота, град.	Жесткость геомагнитного обреза, ГВ
Oulu	65.06N	25.47E	0.77
Sanae	70.31S	2.40W	0.91

Таблица 2 – Список вспышек в 23-24 циклах солнечной активности

GLE №	Дата	Координаты вспышки	Начало вспышки в H _α
56	02.05.1998	S15 W15	13:31
57	06.05.1998	S11 W65	07:58
58	24.08.1998	N30 E07	21:50
59	14.07.2000	N22 W07	10:03
60	15.04.2001	S20 W85	13:19
61	18.04.2001	S20W115	02:11
62	04.11.2001	N06 W18	16:03
64	24.08.2002	S20 W85	00:50
65	28.10.2003	S16E08	09:51
69	20.01.2005	N12W58	06:36
70	13.12.2006	S06W24	02:14
71	17.05.2012	N07W88	01:25

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

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

где A_N и A_S – амплитуды возрастания интенсивности СКЛ в % на станциях северном и южном полушариях Земли.

На основе формулы (1) была рассчитана N-S асимметрия СКЛ для солнечных вспышек, приведенных в таблице 2. Анализ результатов в собы-

тиях 23-24 циклов солнечной активности показал, что из 12 солнечных вспышек для 6 вспышек наблюдается положительная N-S асимметрия СКЛ – 06.05.1998, 18.04.2001, 24.08.2002, 20.01.2005, 13.12.2006, 17.05.2012, а для 5 вспышек – 02.05.1998, 14.07.2000, 15.04.2001, 04.11.2001, 28.10.2003 N-S асимметрия СКЛ отрицательна, и лишь одна вспышка 24.08.1998 имеет значения N-S асимметрии близкие к нулю. Это означает изотропное распределение интенсивности СКЛ.

На рисунках 1 и 2 показаны временные профили и N-S асимметрия для вспышек 24.08.1998, 14.07.2000 и 17.05.2012 по 5-минутным данным НМ Oulu и Sanae, характеристики которых приведены в таблице 1.

Из рисунка 2 видно, что N-S асимметрия события 24.08.1998 – близка к нулю, в событии 14.07.2000 – отрицательна в момент возрастания интенсивности СКЛ, а в событии 17.05.2012 – положительна.

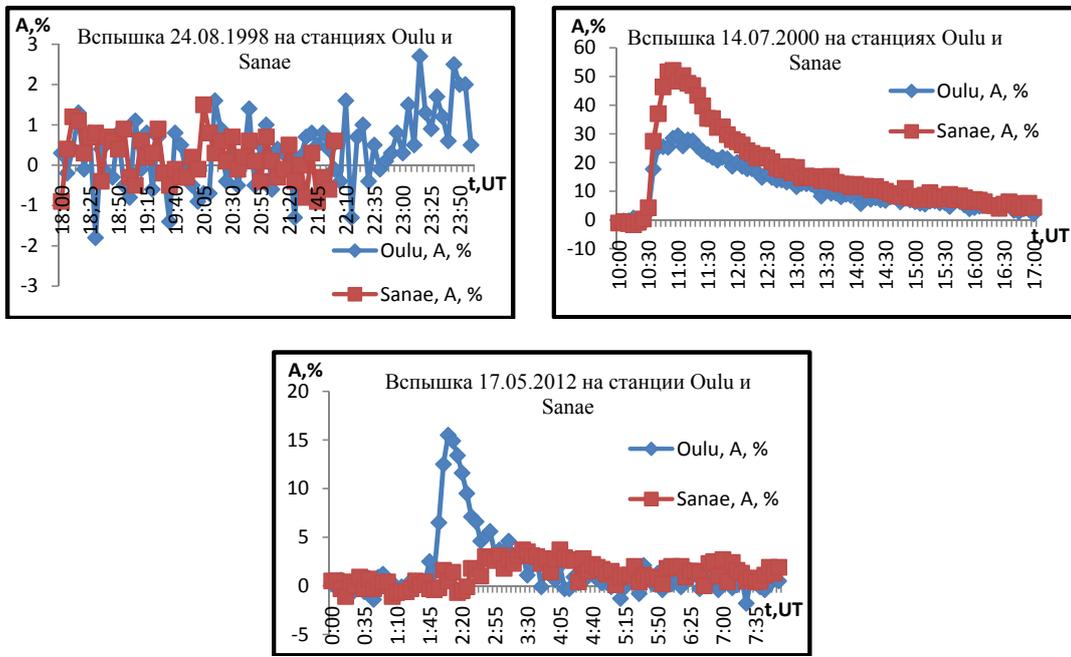


Рисунок 1 – Временные профили для событий 24.08.1998, 14.07.2000 и 17.05.2012 на станциях Oulu и Sanae

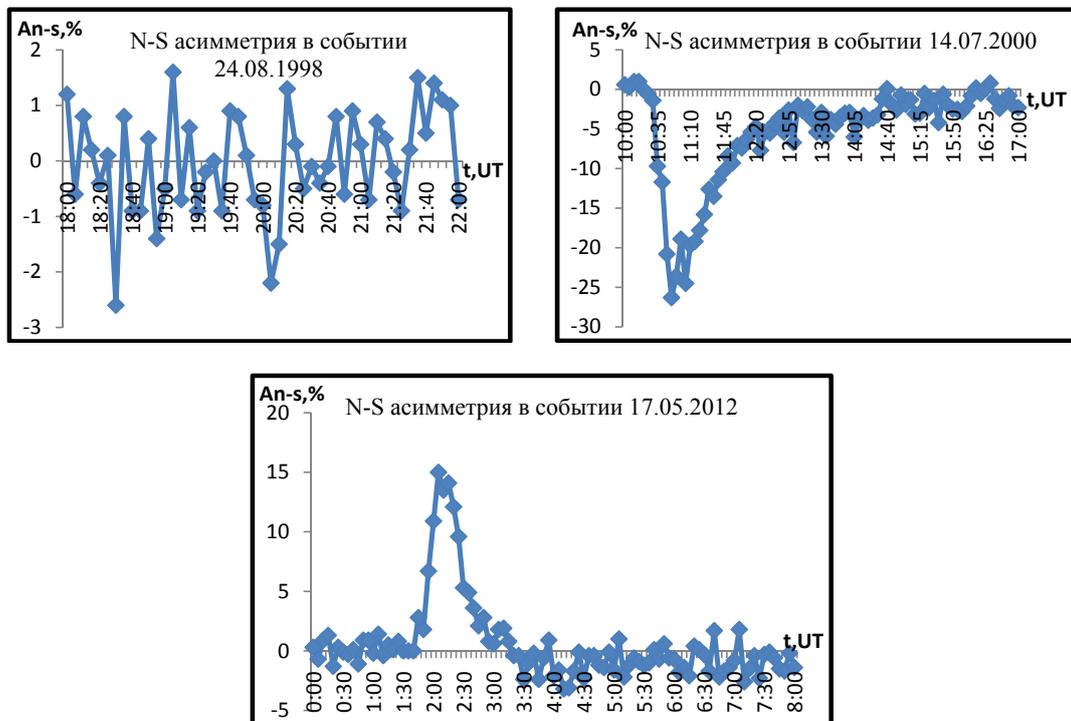


Рисунок 2 – N-S асимметрия в событиях 24.08.1998, 14.07.2000, 17.05.2012

Наблюдаемые эффекты можно объяснить с позиции анизотропной диффузии с учетом дрейфа частиц, когда присутствует анизотропия в давлении «газа» СКЛ. Можно также предположить, что такое поведение анизотропии связано с возмущением ММП. Возможно, что анизотропия появляется как результат волнообразной структуры нейтрального слоя, разделяющего области различных магнитных полярностей [3].

Радиальные градиенты плотности СКЛ

Градиент (от лат. *gradiens*, род. падеж *gradientis* – шагающий) – характеристика, показывающая направление наискорейшего возрастания некоторой величины, значение которой меняется от одной точки пространства к другой.

Градиентом плотности СКЛ является нарастание или уменьшение по какому-либо направлению интенсивности СКЛ.

Радиальный градиент плотности космических частиц определяется следующей формулой [4]:

$$\delta = [dn(E, r)/dr]/n(E, r), \quad (2)$$

где n – интенсивность космических частиц, r – расстояние от Солнца, E – энергия космических частиц.

Обычно δ выражается в процентах на интервале расстояния, равном 1 АЕ. Тогда в пренебрежении потерями и при $C=1$ – коэффициент Комптона – Геттинга:

$$\delta = \frac{1}{n} \frac{dn}{dr} (100 \cdot 1 \text{ АЕ}) = (100 \cdot 1 \text{ АЕ}) \frac{u}{D(E, r)} \%/\text{АЕ}, \quad (3)$$

где u – скорость плазмы, D – коэффициент диффузии.

Имея в распоряжении данные об N-S асимметрии и, привлекая, данные по ММП, можно рассчитать радиальные градиенты плотности СКЛ. Анизотропия космического излучения может быть также записана следующим образом

$$A = \frac{\rho_L}{B} [\vec{B} \times \vec{G}] = \frac{R}{B^2} [\vec{B} \times \vec{G}], \quad (4)$$

где A – анизотропия космического излучения (КИ), ρ_L – ларморовский радиус, R – жесткость, B – магнитное поле, G – градиент плотности КИ. Записывая это уравнение для северо-южной компоненты анизотропии, можно получить удобные для применения соотношения между радиальным градиентом и анизотропией:

$$G = \frac{A_{NS} \cdot B^2}{R \cdot B_y}, \quad (5)$$

где B_y – y – составляющая ММП [2].

На основе часовых данных интенсивности СКЛ и данных измерения ММП на космическом аппарате ACE были рассчитаны радиальные градиенты плотности СКЛ и N-S асимметрии, которые показаны на рисунке 3.

Как видно из рисунка 3, радиальные градиенты плотности СКЛ в событиях 14.07.2000 с отрицательной анизотропией повторяют ход N-S асимметрии. Для событий 17.05.2012с положительной N-S асимметрией имеет место аналогичная зависимость, хотя радиальные градиенты и N-S асимметрия изменяются в противофазе, это определяется отрицательными значениями B_y -составляющей ММП, но по модулю изменения градиентов происходит одновременно с изменением N-S асимметрии. Для события 24.08.1998 с нулевой анизотропией радиальные градиенты плотности СКЛ также повторяют ход N-S асимметрии.

Заключение

В работе проведено исследование N-S асимметрии и радиальных градиентов плотности СКЛ для вспышек 23-24 циклов солнечной активности, используя данные непрерывной регистрации космического излучения мировой сети станций нейтронных мониторов, данные ММП, полученные на спутнике ACE.

Показано, что радиальные градиенты плотности СКЛ могут принимать отрицательные или нулевые значения во время вспышек на Солнце. Изменение радиальных градиентов плотности СКЛ происходит в фазе с N-S асимметрией СКЛ, если N-S асимметрия отрицательна, и в противофазе, если N-S асимметрия положительна. При изотропном распределении СКЛ радиальные градиенты плотности СКЛ близки к нулю.

Проведенные исследования направлены на решение проблемы генерации и распространения СКЛ в космическом пространстве, для создания модели солнечных вспышек, а также позволяют решить ряд прикладных задач в области экологии, обеспечения радиационной безопасности космических и авиационных полетов, прогнозирования геоактивных явлений в околоземном космическом пространстве и глобальных изменений в окружающей среде.

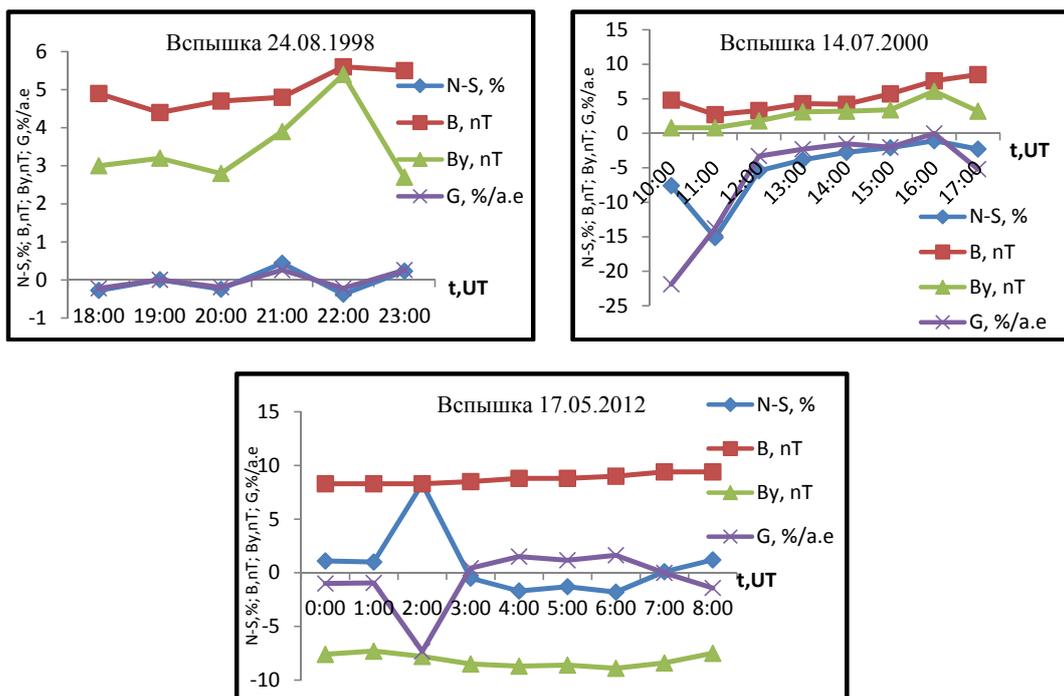


Рисунок 3 – Анизотропия и радиальные градиенты плотности СКЛ во вспышках 24.08.1998, 14.07.2000, 17.05.2012

Литература

- 1 Кочаров Г.В. Комплексное изучение солнечной активности и ускоренных во вспышках частиц. – Сб. Проблемы физики космических лучей. – М.: Наука, 1987. – С. 83 – 98.
- 2 Купчишин А.И., Наурызбаева А.Ж., Чебакова Е.А. Анизотропия, радиальные градиенты плотности СКЛ и диагностика оптических свойств атмосферы // Известия НАН РК. Серия физ.-мат., 2006. №2. – С.48-52.
- 3 Erdos G., Kota J. The spectrum of daily variations between 50 and 200 GV / Central Research Institute For Physics, Budapest // 16th International Cosmic ray Conference Kyoto, Japan, 6-18 August 1979.
- 4 Мурзин В.С. Астрофизика космических лучей // Учебное пособие для вузов. – М.: университетская книга, Логос, 2007. – 488 с.

References

- 1 G.V. Kocharov Kompleksnoe izuchenie solnechnoj aktivnosti i uskorenyh vo vspyshkah chastic. – Sb. Problemy fiziki kosmicheskikh luchej. – М.: Nauka, 1987. – С. 83 – 98 (in russ).
- 2 A.I. Kupchishin, A.Zh. Nauryzbaeva, E.A. Chebakova, Izvestija NAN RK. Serijafiz.-mat., 2,48-52, (2006) (in russ).
- 3 G. Erdos, J. Kota, Central Research Institute For Physics, Budapest, 16th International Cosmic ray Conference Kyoto, Japan, 6-18 August 1979.
- 4 Murzin V.S. Astrofizika kosmicheskikh luchej // Uchebnoe posobie dlja vuzov. – М.: Universitetskaja kniga. Logos, 2007. – 488 s. (inruss).