

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

АТОМНАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

УДК 523.165

**СВЯЗЬ ВАРИАЦИЙ ПОТОКА ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ
ЛУЧЕЙ С ВАРИАЦИЯМИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОЛНЕЧНОЙ
АКТИВНОСТИ И ПАРАМЕТРОВ МЕЖПЛАНЕТНОЙ СРЕДЫ
В ПЕРИОДЫ МИНИМУМОВ ЧЕТНЫХ ЦИКЛОВ СОЛНЕЧНОЙ
АКТИВНОСТИ**

С. Н. Кузнецов, И. Н. Мягкова

(НИИЯФ)

В периоды минимумов двух последних четных циклов солнечной активности корреляция величины потоков галактических космических лучей (ГКЛ) с числом солнечных пятен уменьшалась, но имела место устойчивая корреляция потоков ГКЛ с модулем магнитного поля Солнца и скоростью солнечного ветра, что может быть связано с определяющим влиянием высокоскоростного солнечного ветра, истекающего из полярных корональных дыр, на свойства межпланетной среды в эти периоды.

Установление связи вариаций потока галактических космических лучей (ГКЛ) с различными показателями солнечной активности (СА) и параметрами межпланетной среды представляет интерес с точки зрения исследования процессов модуляции ГКЛ в гелиосфере и уже давно привлекает к себе внимание многих авторов. Так, например, в работах [1, 2], выполненных еще в середине 1970-х гг., была установлена связь вариаций потока ГКЛ с величиной, представляющей собой комбинацию числа групп солнечных пятен (СП) и их средней гелиошироты. Но при этом самими авторами и в этих, и в более поздних работах (например, в [3]) отмечалось, что корреляция рассматриваемой ими величины с потоками ГКЛ заметно ухудшалась во время минимума 20-го цикла СА, соответствующего протяженному максимуму величины потока ГКЛ (1971–1977 гг.). Авторами работы [4] рассматривалась связь вариаций потоков ГКЛ с общим магнитным полем Солнца, в частности с его инверсией, но численных оценок рассматриваемых эффектов в данной работе не проводилось. Полуэмпирическая модель, учитывающая влияние на ГКЛ крупномасштабных гелиосферных магнитных полей и СА, хорошо описывающая 22-летнюю вариацию ГКЛ и позволяющая делать количественные предсказания уровня ГКЛ, представлена в работе [5]. В последнее время многие авторы указывают на существование связи величины потока ГКЛ с углом наклона гелиосферного токового слоя, суммарной площадью СП, интенсивностью коронального излучения, числом солнечных вспышек и скоростью солнечного ветра (СВ) [3, 6, 7].

В ходе исследований вариаций потока ГКЛ на ИСЗ «КОРОНАС-И», который был выведен на орбиту 02.03.1994 г., мы обнаружили, что вариации суммарного потока протонов ($E_p > 70$ МэВ) и электро-

нов ($E_e > 55$ МэВ), регистрировавшиеся в полярных шапках с марта по июнь 1994 г. [8], хорошо коррелируют ($R = 0,85$) с вариациями скоростей счета высокоширотного нейтронного монитора Туле [9], но не коррелируют с изменениями числа СП за этот период. Корреляции величины потоков ГКЛ и числа СП, по данным Туле, в течение всего 1994 г. не было.

В процессе поиска физических явлений, ответственных за модуляцию потока ГКЛ в исследуемый период времени, мы исследовали связь потока ГКЛ с модулем среднего магнитного поля Солнца как звезды (МПСЗ), измеряемого в Стенфорде [9], и со скоростью СВ (v_{sw}), полученной нами с помощью программы прямой связи (OMNIweb). Временные зависимости исследуемых величин (потока ГКЛ по данным Туле, модуля МПСЗ, скорости СВ и числа СП) после сглаживания всех имеющихся данных путем вычисления скользящего среднего с периодом 27 дней за 1994–1995 гг. показаны на рис. 1. Уже из рис. 1 видно, что для усредненных таким образом данных наблюдается корреляция потока ГКЛ с МПСЗ, а также с v_{sw} , а корреляция с числом СП действительно отсутствует. Было получено, что за указанный период времени коэффициент корреляции величины потока ГКЛ с модулем МПСЗ R (ГКЛ, МПСЗ) $\approx -0,88$, со скоростью СВ — R (ГКЛ, v_{sw}) $\approx -0,92$, а с числом СП — значительно ниже: R (ГКЛ, СП) $\approx -0,5$.

Для того чтобы выяснить, имела ли место обнаруженная нами особенность связи вариаций потоков ГКЛ с показателями СА и параметрами межпланетной среды во время минимумов предыдущих циклов СА, мы проанализировали связь величины потока ГКЛ с модулем МПСЗ, v_{sw} и числом СП для всех минимумов СА, приходившихся на период времени, для которого имелись данные о МПСЗ — с 1976 по 1995 г. Так как мы имели данные Туле только

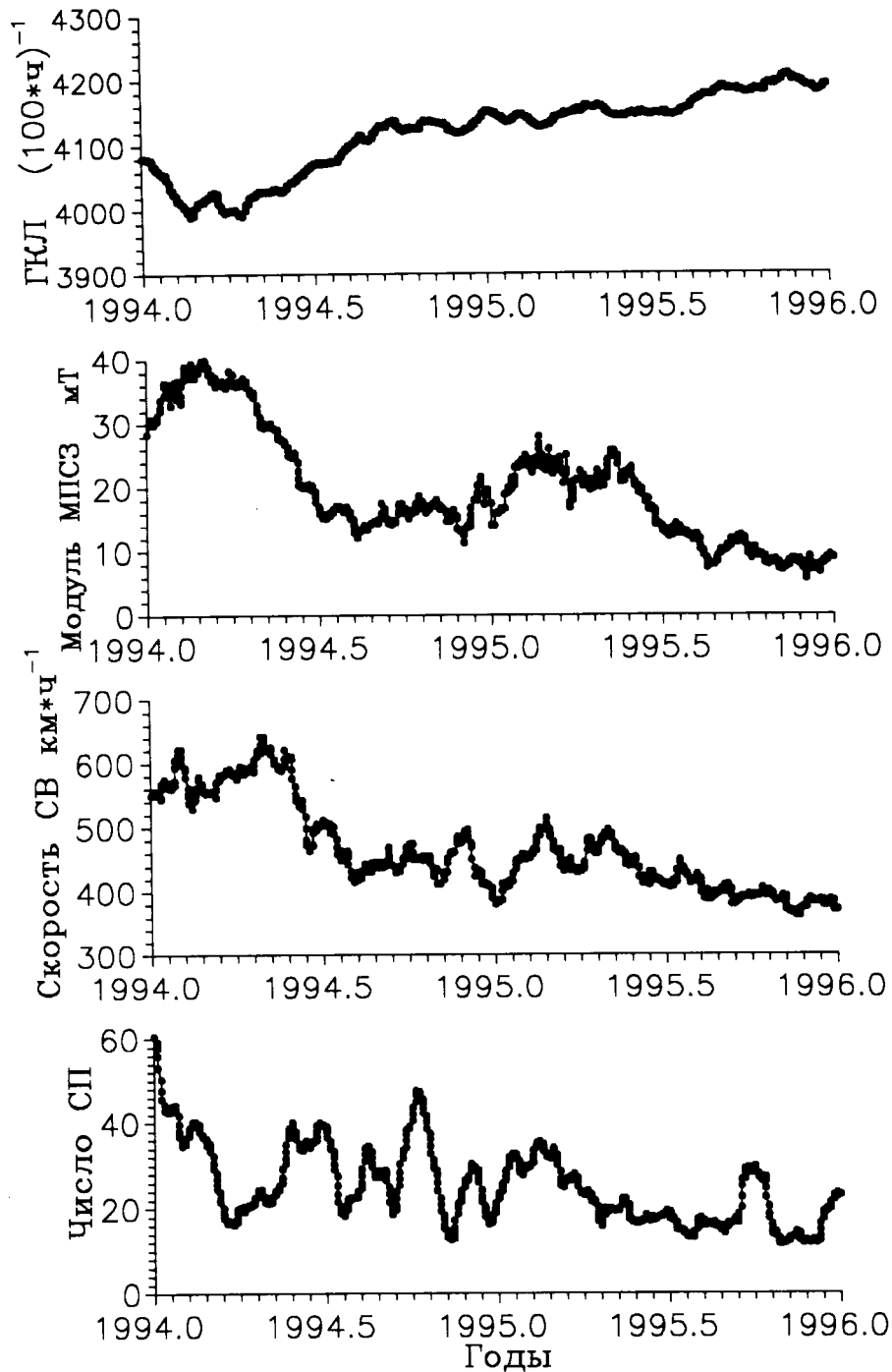


Рис. 1

начиная с 1989 г., для анализа за период 1976–1995 гг. мы использовали данные нейтронного монитора Клаймакс, которые хорошо коррелируют с данными Туле ($R \approx -0,97$), а амплитуда вариаций скоростей счета монитора Туле превышает амплитуду вариаций на мониторе Клаймакс примерно на 10%.

Коэффициенты корреляции вариаций потоков ГКЛ с модулем МПСЗ, скоростью СВ и числом СП за каждый год в периоды минимумов СА (рассматривались годы, когда среднемесячное число СП не пре-

вышало 50) приведены в таблице. Эти коэффициенты корреляции получены при введении задержки потока ГКЛ относительно остальных данных на 30 ± 10 дней.

Из таблицы видно, что в периоды времени, соответствующие четным минимумам СА, для интервалов длительностью в один год коэффициент корреляции потоков ГКЛ с СП, как правило, был заметно ниже, чем с модулем МПСЗ и с v_{sw} . Во время же минимума 21-го (нечетного) цикла СА, т.е. в 1985 и 1986 гг., отсутствовала корреляция

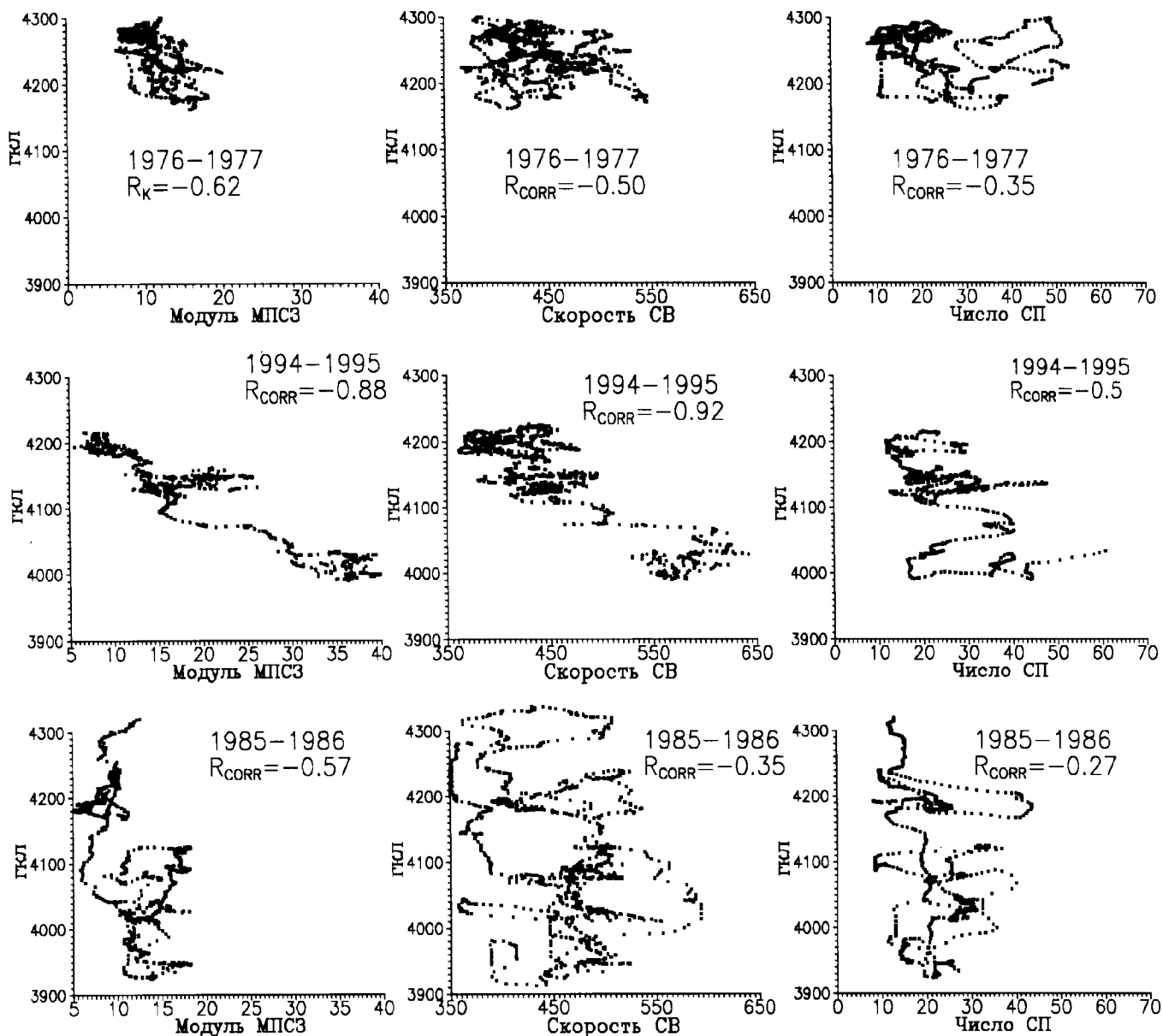


Рис. 2

величины потоков ГКЛ не только с числом СП, но и с модулем МПСЗ и с v_{sw} : число СП, модуль МПСЗ и v_{sw} изменялись мало, тогда как поток ГКЛ продолжал расти. По-видимому, это связано с тем, что временная задержка вариаций ГКЛ по отношению к изменению числа пятен и магнитного поля Солнца в нечетные циклы значительно больше, чем в четные, как отмечалось ранее другими авторами [3, 7].

При увеличении рассматриваемых временных интервалов до двух и трех лет мы получили, что указанное выше соотношение между коэффициентами корреляции ГКЛ, СП и v_{sw} не только сохранялось для четных циклов, но проявлялось и в период минимума нечетного цикла. Для всего рассмотренного периода целиком (с 1976 по 1995 г.) наблюдается устойчивая корреляция потока ГКЛ и с числом СП ($-0,77 \pm 0,007$), и с МПСЗ ($-0,82 \pm 0,006$),

а корреляция ГКЛ со скоростью СВ отсутствует.

Отмеченная выше закономерность (более устойчивая связь вариаций потока ГКЛ с вариациями модуля МПСЗ и со скоростью СВ по сравнению с вариациями числа СП в некоторые короткие (не более трех лет) периоды времени вблизи минимумов четных циклов СА) наглядно представлена на рис. 2, где приведены данные для трех последних минимумов СА (20, 22 и 21-го соответственно). Видно, что приведенные зависимости для 20-го и 22-го циклов не только заметно отличаются от аналогичных зависимостей для 21-го цикла, но и различаются между собой, на основании чего можно предположить, что данный эффект ярче проявляется на спаде СА, чем непосредственно в самом минимуме.

Пытаясь объяснить причины данной закономерности, мы рассмотрели соотношение времени

Коэффициенты корреляции величины потока ГКЛ с модулем среднего магнитного поля Солнца как звезды, скоростью солнечного ветра и числом солнечных пятен в годы минимумов 20–22-го цикла солнечной активности

Год	R (ГКЛ, МПСЗ)	R (ГКЛ, v_{sw})	R (ГКЛ, СП)
1976	$-0,53 \pm 0,04$	$-0,77 \pm 0,033$	$-0,26 \pm 0,05$
1977	$-0,65 \pm 0,04$	$-0,59 \pm 0,04$	$-0,39 \pm 0,05$
1985	$-0,06 \pm 0,05$	$0,4 \pm 0,05$	$0,09 \pm 0,05$
1986	$-0,02 \pm 0,05$	$-0,64 \pm 0,04$	$-0,41 \pm 0,05$
1987	$-0,7 \pm 0,04$	$-0,28 \pm 0,05$	$-0,63 \pm 0,04$
1994	$-0,95 \pm 0,02$	$-0,91 \pm 0,02$	$-0,18 \pm 0,05$
1995	$-0,83 \pm 0,03$	$-0,79 \pm 0,03$	$-0,56 \pm 0,04$

наблюдения высокоскоростного ($v_{sw} > 600$ км/с) и низкоскоростного ($v_{sw} < 600$ км/с) солнечного ветра в разные годы. Было получено, что доля времени наблюдения высокоскоростного солнечного ветра в годы, близкие к периоду минимумов четных циклов СА (1976 и 1995 гг.), составляла более 10% и в особенности была велика на спаде 22-го цикла СА в 1994 г. — около 32%. Как видно из таблицы, в эти же годы коэффициенты корреляции ГКЛ с МПСЗ и с v_{sw} были выше, чем с числом СП.

Все изложенное выше позволило нам предположить, что в периоды времени, близкие к периодам минимумов четных циклов СА, на свойства межпланетной среды определяющее влияние может оказы-

вать высокоскоростной СВ, истекающий из полярных корональных дыр. За весь же период солнечного цикла в целом свойства СВ и соответственно межпланетной среды, как правило, определяются процессами, происходящими в более низкоширотных областях Солнца. Более детальное исследование роли высокоскоростного СВ в процессах модуляции ГКЛ планируется нами в дальнейшем.

Литература

1. Чарахчян А.Н., Базилевская Г.А., Стожков Ю.И. // Тр. ФИАН. 1976. **88**. С. 3.
2. Charakhchyan A.N., Stozhkov Yu.I. // Proc. 17 ICRC. Paris, 1981. V. 3. P. 223.
3. Базилевская Г.А., Крайнев М.Б., Махмутов В.С. и др. // Изв. РАН, сер. физ. 1995. **59**, № 4. С. 75.
4. Charakhchyan A.N., Charakhchyan T.N. // Proc. 17 ICRC. Paris, 1981. V. 3. P.202.
5. Nymnik R.A., Panasyuk M.A., Suslov A.A. // Adv. Space Research. 1996. **17**, No. 2. P. (2)19.
6. Белов А.В., Гуцина Р.Т., Сиротина И.В. // Изв. РАН, сер. физ. 1995. **59**, № 4. С. 71.
7. Ahluwalia H.S. // Proc. Second SOLTIP Symp. 1995. STEP GBRSC NEWS. V. 5. P. 239.
8. Кузнецов С.Н., Богомолов А.В., Дмитриев А.В. и др. // Изв. РАН, сер. физ. 1997. **61**, № 6. С. 1104.
9. Solar Geophysical Data. Part 1. Promt Reports 1975–1997.

Поступила в редакцию
11.02.98