

УДК 523.165

Н. А. Иванов

Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины
03680 Киев ГСП, ул. Академика Заболотного 27

Исследование относительного содержания однократных нейтронов в падающем потоке космических лучей по данным нейтронных мониторов

По данным сети станций космических лучей рассмотрено поведение относительного содержания однократных нейтронов в падающем на монитор потоке во время форбуш-понижений и вспышек солнечных космических лучей. Получена барометрическая зависимость этой величины от широты расположения станции космических лучей и ее высоты над уровнем моря.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДНОСНОГО ВМІСТУ ОДНОКРАТНИХ НЕЙТРОНІВ У ПАДАЮЧОМУ ПОТОЦІ ЗА ДАНИМИ НЕЙТРОННИХ МОНІТОРІВ, Иванов М. А. — За даними мережі станцій космічних променів розглянуто поведінку відносного вмісту однократних нейтронів у падаючому на монітор потоці під час форбуш-знижень та спалахів сонячних космічних променів. Отримано барометричну залежність цієї величини від широти розміщення станції космічних променів та її висоти над рівнем моря.

THE INVESTIGATION OF RELATIVE CONTENT OF ONE-FOLD NEUTRONS IN THE INCIDENT FLUX OF COSMIC RAYS FROM NEUTRON MONITOR DATA, by Ivanov N. A. — The behaviour of relative content of one-fold neutrons in the incident flux of cosmic rays during Forbush-decreases and solar cosmic ray flares is considered based on the network of cosmic ray stations. The barometric dependence of this value on the latitude and sea level altitude of a cosmic ray station is obtained.

Мировая сеть станций космических лучей (СКЛ), регистрирующая нейтронный компонент, в большинстве своем оснащена нейтронными супермониторами NM-64. Регистратор, разработанный Симпсоном и его сотрудниками, состоит из локального размножителя малоэнергичных нейтронов (свинец), полиэтиленового или парафинового замедлителя и специальных пропорциональных счетчиков, наполненных фторидом бора $[B^{10} \{n\alpha\} Li^6]$ [5]. Поток нейтронов, зарегистрированных таким монитором, состоит как из частиц пришедших из атмосферы, так и генерированных в свинцовой оболочке самого прибора. Поэтому есть три основных варианта регистрации нейтронов космических лучей (КЛ). Большинство станций космических лучей

регистрируют все нейтроны независимо от места их образования (интегральную интенсивность), с малым «мертвым временем», определяемым разрешающей способностью счетчиков и электронных схем прибора. Вторым способом заключается в том, что в электронную схему искусственно вводится дополнительное «мертвое время» τ . Для отечественных станций ($\tau = 1200$ мкс) предполагается, что за это время локальная «звезда», возникшая в результате взаимодействия падающей частицы с ядром свинца, прекратит свое существование, дав только один импульс, связанный с падающей на монитор частицей. В этом случае получаем поток частиц, падающих на монитор из атмосферы. Третий способ основан на том, что в зависимости от энергии падающей частицы при взаимодействии с ядром свинца генерируется различное количество вторичных нейтронов (кратность генерации). Используя специальную электронную аппаратуру, считают количество нейтронов, образующихся в каждом акте взаимодействия КЛ с ядром свинца и получают набор кратностей генерации, связанный со спектром падающих частиц. Трудности изучения спектров кратностей состоят в том, что в отличие от регистрации общего нейтронного компонента, производимого по единой методике на всей сети нейтронных мониторов, эксперименты по изучению кратностей выполняются отдельными экспериментаторами по разным методикам с использованием различной электронной аппаратуры. Это затрудняет их анализ по сети станций КЛ. На СКЛ Апатиты, Москва, Киев функционировали идентичные двухканальные нейтронные мониторы с большим и малым мертвым временем. По данным этих СКЛ было исследовано относительное содержание однократных нейтронов в интегральном потоке КЛ. Примем, что интенсивность n нейтронов, зарегистрированных каналом с $\tau = 1200$ мкс, соответствует интенсивности падающего потока, а интенсивность N , регистрируемая каналом с $\tau = 40$ мкс, соответствует интегральной интенсивности. Полагая, что в интегральном потоке максимальная кратность размножения равна 2, получим, что величина $K_1 = (2n - N)/n$ выражает относительное содержание однократных нейтронов в интегральном потоке [1]. По изменению величины K_1 можно судить о вариациях самого мягкого компонента спектра первичных КЛ, проникающих через геомагнитный порог на мониторы каждой из этих станций. Выяснилось, что величина K_1 существенно зависит от изменения атмосферного давления P . Поэтому были найдены барометрические коэффициенты β зависимости K_1 от P для каждой из СКЛ (табл. 1). Данные по обсерватории им. Эмилио Сегре (ЭСО) взяты из одноразового измерения, выполненного при подъеме нейтронного монитора на гору Хермон [3, 4]. Положительное значение барометрического коэффициента отражает тот факт, что он увеличивается по мере увеличения кратностей [2]. Из табл. 1 можно сделать два вывода: с увеличением порога обрезания R барометрический коэффициент K_1 уменьшается, в то время как его значение K_1^0 ,

Таблица 1. Зависимость барометрического коэффициента β для K_1 от геомагнитного порога обрезания R

Название СКЛ	β , %/мб	R , ГВ	K_1^0
Апатиты	-0.047	0.6	0.6354
Москва	-0.034	2.41	0.7542
Киев	-0.030	3.48	0.7489
Израиль, ЭСО	-0.029	10.8	0.7632

приведенное к $P_0 = 1000$ мб, — увеличивается. Во время широтной экспедиции по изучению КЛ была получена тесная корреляция барометрического коэффициента с геомагнитным порогом обрезания [6]. Возможным объяснением этой связи может быть то, что статистический вес однократных нейтронов, имеющих меньший барометрический коэффициент, увеличивается по мере увеличения порога обрезания, что ведет к уменьшению общего барометрического коэффициента. Было бы интересно посмотреть такую же зависимость для безсвинцового монитора, где размножения нейтронов нет. По данным монитора ЭСО просматривается еще одна закономерность в поведении K_1 . Она состоит в том, что с уменьшением атмосферного давления при подъеме монитора на гору при общем увеличении регистрируемой интенсивности величина K_1 уменьшается. Относительное же содержание остальных кратностей, начиная с двух, — наоборот, увеличивается (табл. 2). Если уменьшение K_1 с увеличением высоты можно объяснить

Таблица 2. Изменения относительного содержания нейтронов кратности m в процессе подъема нейтронного монитора на гору Хермон

N	P, мбар	Относительное содержание нейтронов кратности m в падающем потоке						
		$m = 1$	$m = 2$	$m = 3$	$m = 4$	$m = 5$	$m = 6$	$m = 7$
1688	999.9	0.7632	0.1588	0.050	0.020	0.007	0.0040	0.0020
5565	823.7	0.7152	0.1844	0.060	0.023	0.010	0.0050	0.0030
6953	786.8	0.6977	0.1923	0.066	0.025	0.011	0.0055	0.0029

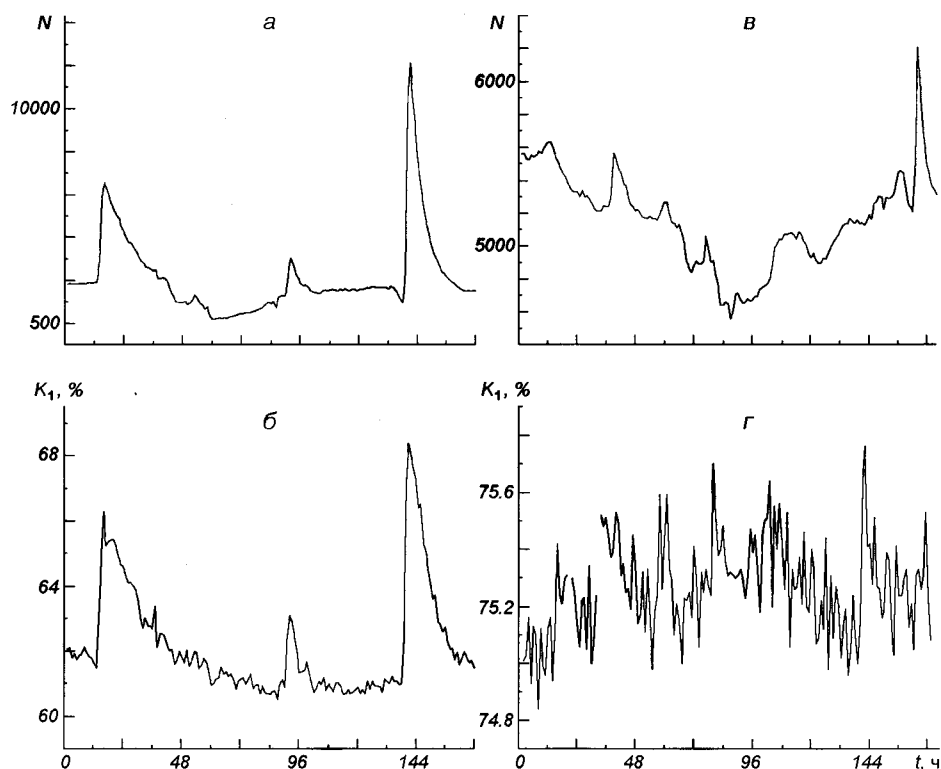


Рис. 1. Изменения интенсивности нейтронов с 19 по 25 октября 1989 г.: а, б — интенсивность N и относительное содержание K_1 однократных нейтронов, полученные на СКЛ Апатиты, в, г — то же для СКЛ Киев

увеличением средней энергии частиц, падающих на монитор, то почему происходит увеличение K_1 по мере увеличения порога обрезания — остается загадкой. После ввода поправок на атмосферное давление, было исследовано поведение K_1 при форбуш-понижениях на трех станциях. Так, например, для Москвы форбуш-понижение 04.08.72 г. составило около 22 %, но величина K_1 оставалась в пределах статистической ошибки. То же наблюдалось и на станции Апатиты в октябре 2003 г. при величине понижения около 20 % и на станции Киев в феврале 1978 г. [1]. Можно сделать вывод о том, что спектр кратностей в области от K_1 до $K \geq 2$ либо не изменяется при форбуш-понижениях, либо метод недостаточно чувствителен к этим изменениям. Также было рассмотрено поведение K_1 во время вспышек солнечных космических лучей в октябре 1989 г., так как имелась возможность сравнить эффекты для станций Апатиты и Киев с существенно различными геомагнитными порогами обрезания.

Из рис. 1 видно, что если на станции Апатиты величина K_1 заметно увеличивается во время вспышек 19, 22, 24 октября 1989 г., и при этом максимум K_1 совпадает с максимумом общей интенсивности, то на станции Киев подобное увеличение K_1 практически не наблюдалось.

Исключением является вспышка 29 сентября 1989 г., наблюдавшаяся на СКЛ Киев и СКЛ Апатиты. При всей несхожести формы и величины амплитуды интенсивности этой вспышки, зарегистрированной двумя стан-

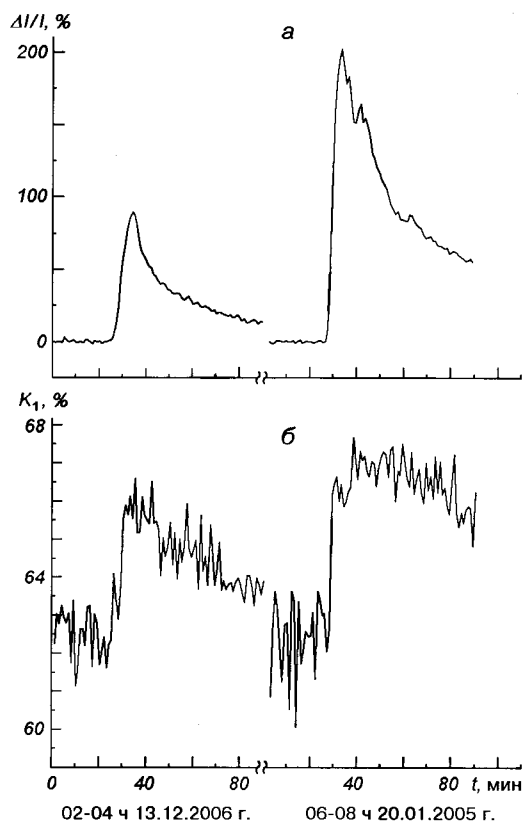


Рис. 2. Изменения $\Delta I/I$ интенсивности нейтронов (а) и относительного содержания K_1 однократных нейтронов (б) во время вспышек солнечных космических лучей 13 декабря 2006 г. и 20 января 2005 г., зарегистрированных на СКЛ Апатиты

циями, максимумы K_1 у них смещены относительно максимума общей интенсивности и приходятся на 15 UT, чего не наблюдалось во всех рассмотренных ранее вспышках.

Начиная с июня 2000 г., данные СКЛ Апатиты выдаются на сайте <http://pgi.kolasc.net.ru/CosmicRay> как с большим, так и с малым «мертвым временем» и с интервалом регистрации 2 и 5 мин; при этом была сохранена изначальная структура регистрации нейтронов. Это позволило исследовать поведение K_1 во время вспышек КЛ более детально.

Характерной особенностью поведения K_1 при вспышках, (например, по данным за 20.01.2005 г. и 13.12.2006 г.) есть то, что K_1 , достигнув максимума, примерно совпадающего с максимумом интенсивности КЛ, остается на этом же уровне до тех пор, пока амплитуда интенсивности не снизилась с 185 до 60 % в первом случае и с 89 до 45 % во втором. При этом увеличение K_1 почти не зависело от амплитуды вспышки (рис. 2).

ВЫВОДЫ

Барометрический коэффициент относительного содержания однократных нейтронов уменьшается по мере увеличения порога геомагнитного обрезания, в то время как приведенное к 1000 мб значение K_1^0 для станций Апатиты, Москва, Киев — увеличивается.

При подъеме монитора ЭСО на гору значение K_1 с увеличением высоты уменьшалось, в то время как общая интенсивность и относительное содержание кратностей два и больше — увеличивалось.

Для форбуш-понижений K_1 остается постоянным в пределах ошибок для всех названных выше станций.

Во время вспышек солнечных космических лучей по пятиминутным данным нейтронного монитора станции Апатиты величина K_1 в начале вспышки увеличивается до определенных значений и остается постоянной даже при существенном уменьшении интенсивности вспышки.

1. Иванов Н. А. Исследование спектральной чувствительности двухканального монитора космических лучей // Кинематика и физика небес. тел.—2004.—20, № 5.—С. 457—462.
2. Коняхина С. С., Лаптева А. М., Шаповалова Л. А. Барометрический коэффициент космических лучей по данным Саянского спектрографа // Исслед. по геомагнетизму, аэрон. и физ. Солнца.—1980.—Вып. 52.—С. 46—51.
3. Dorman L. I., Iucci N., Parisi M., et al. Determination of barometric coefficients for total neutron intensity and neutron multiplicities on the base of Emilio Segre observatory data corrected for primary variations according to Rome neutron monitor data // Proc. 26th Intern. Cosmic Ray Conf. — Salt Lake City, 1999.—Paper SH 3.6.23.
4. Dorman L. I., Iucci N., Pustilnik L., et al. Determination of neutron monitor barometric effect on the base of the altitude cosmic ray intensity dependence as measured by the Israelo-Italiano mobile laboratory // Proc. 26th Intern. Cosmic Ray Conf. — Salt Lake City, 1999.—Paper SH 3.6.22.
5. Simpson J. A., Fonger W., Treiman S. B. Intensity time variations and their origin // Phys. Rev.—1953.—90.—P. 934.
6. Villoresi G., Dorman L. I., Iucci N., Ptitsina N. G. Cosmic ray survey to Antarctica and coupling functions for neutron component near solar minimum (1996—1997) // J. Geophys. Res.—2000.—105, N A9.—P. 21025—21034.

Поступила в редакцию 28.02.08