Секция А. Астрофизика и физика Солнца. БШФФ-2024. С. 41–43.

УДК 524.1 DOI: 10.62955/0135-3748-2024-41

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА БАРОМЕТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА НЕЙТРОННОЙ КОМПОНЕНТЫ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ПО ДАННЫМ ДЕТЕКТОРОВ ТАШКЕНТ И АЛМА-АТА

П.Г. Кобелев[1], Ю.Б. Хамраев[2], В.Г. Янке[1]

[1] Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн имени Н.В. Пушкова Российской Академии наук (ИЗМИРАН), Москва, Троицк, Россия kobelev@izmiran.ru
[2]Узбекско-Финский пединститут, Самарканд, Узбекистан

EXPERIMENTAL EVALUATION OF BAROMETRIC EFFECT OF THE NEUTRON COMPONENT OF COSMIC RAYS ACCORDING TO THE TASHKENT AND ALMA-ATA DETECTORS

P.G. Kobelev[1], Y.B. Hamraev[2], V.G. Yanke[1]

[1] Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radiowave Propagation of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Troitsk, Russia, kobelev@izmiran.ru
[2] Uzbek-Finnish Pedagogical Institute

Аннотация. Целью работы является оценка барометрического эффекта нейтронной компоненты космических лучей для низкоширотных станций Ташкент и Алма-Ата, включая периоды максимально высокой солнечной активности. Разработанная методика применима для обработки данных любых детекторов Мировой сети нейтронных супермониторов. В результате получены среднегодовые барометрические коэффициенты нейтронной компоненты на станциях Ташкент и Алма-Ата.

Ключевые слова: Нейтронный монитор, барометрический эффект.

Abstract. The purpose of this work is to assess the barometric effect of the neutron component of cosmic rays for the low-latitude stations Tashkent and Alma-Ata, including periods of maximum solar activity. The developed technique is applicable for processing data from any detectors of the World Network of Neutron Supermonitors. As a result, the average annual barometric coefficients of the neutron component at the Tashkent and Alma-Ata stations were obtained.

Keywords: Neutron monitor, barometric effect.

ВВЕДЕНИЕ

При мониторинге космического излучения одновременно наблюдаются вариации различных типов — атмосферного, магнитосферного и первичного происхождения [Дорман, 1957]. Современный подход состоит в формировании полной модели вариаций, учитывающей все типы вариаций, характерных для рассматриваемого детектора. Для нейтронных детекторов в модель входят вариации первичного и атмосферного происхождения [Дорман, 1957]. На интенсивность нейтронной компоненты в основном влияют барометрический эффект и эффект влажности воздуха. Отрицательный барометрический эффект обусловлен поглощением нейтронной компоненты в атмосфере. Отрицательный эффект влажности обусловлен замедлением нейтронов ядрами водорода водяного пара в толще атмосферы и переходом нейтронов в область энергий ниже порогового значения нейтронного супермонитора [Hatton, Carmichael, 1964]. В настоящее время в большинстве случаев коррекция данных нейтронных супермониторов ограничивается только поправкой на барометрический эффект. В работе [Янчуковский и др., 2024] исследовался вклад влажности воздуха в приближении приземного слоя с постоянной влажностью в изменения интенсивности нейтронной компоненты.

Целью данной работы является оценка барометрического эффекта нейтронной компоненты космических лучей на примере станций Ташкент и Алма-Ата. Работа базировалась на часовых данных непрерывного мониторинга нейтронной компоненты за период 1975–1992 гг. на станции Ташкент и 1973–2023 гг. на станции Алма-Ата и на данных локальных метеостанций.

В настоящей работе невозможно было учесть влияние влажности воздуха даже в приближении приземного слоя, поскольку для станций Алма-Ата и Ташкент отсутствуют данные о влажности воздуха и приземной температуры в рассматриваемый период.

МЕТОДЫ АНАЛИЗА И КОРРЕКЦИИ АТМОСФЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ

Измеренную нейтронным супермонитором скорость счета необходимо исправить на барометрический и на эффект влажности воздуха. Для оценки исправленной скорости счета детектора N_C необходимо измеренную скорость счета N_U детектора привести к среднему атмосферному давлению P_0 и к стандартным атмосферным условиям (20° C, 50 %) при которых значение абсолютной влажности воздуха равно H_0 =8.7 г/м^3. При известном барометрическом коэффициенте β >0 и коэффициенте влажности ε>0, исправленная на эти эффекты скорость счета равна

$$N_C^i = N_U^i\, exp[-\beta(P_0 - P^i)] \times [1 - \varepsilon(H_0 - H^i)]/(I_E^i/I_{Base})]. \quad (1)$$

В последнем выражении P^i и H^i часовые значения атмосферного давления на уровне наблюдения и эффективные значения абсолютной влажности воздуха, учитывающее высотное распределение влажности в атмосфере [Zreda et al., 2012; Kobelev et al., 2021]. Из данных наблюдений следует также

исключить ожидаемые для данного детектора вариации космических лучей первичного происхождения, что отражает последний множитель уравнения (1), который, по определению, связан с ожидаемыми вариациями ν_E первичного происхождения как $(I_E/I_{Base})^{-1} = (1+\nu_E)^{-1} \cong (1-\nu_E)$. Ожидаемые вариации связаны через вариации опорного детектора как $\nu_E = \delta\nu_S$. Логарифмируя выражение (1) и раскладывая в ряд ТейлораМаклорена по малому параметру z логарифмы $ln(1 \pm z) \cong \pm z$, мы приходим к линейному выражению

$$ln\, N_U = ln\, N_C + \beta(P_0 - P) + \varepsilon(H_0 - H) + \delta\nu_S, \quad (2)$$

т.е. поправки вычитаются из вариаций неисправленной скорости счета детектора. В итоге получаем систему линейных уравнений регрессии. Число уравнений определяется длиной исследуемого ряда данных и на практике достигает 10^4. В качестве опорного детектора для детекторов Ташкент и Алма-Ата можно привлечь нейтронный монитор Рим.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Основные параметры рассматриваемых нейтронных детекторов Ташкент и горной станции Алма-АтаВ и параметры опорного детектора приведены в табл. 1. Мы располагаем полным набором данных (неисправленные и давление) только для 1991–1992 гг.

Таблица 1.

Основные параметры нейтронных детекторов

	λ°	φ°	Rc (1987), GV	h, м	P_0, mb	N, pps
Ташкент	41.20	69.37	7.199	565	960	132
Алма-Ата	43.25	76.92	6.428	3340	675	1335

Нами построена многофакторная модель вариаций космических лучей (2) для оценок и объяснения роли привлекаемых факторов β и δ и для исследования их взаимосвязи. Результат приведен ниже в табл.2 и табл.3.

Таблица 2.

Корреляционная матрица для нейтронных супермониторов Алма-Ата (вверх) и Ташкент (низ).

	P	ν_S	N_u
P	1	0.096	0.574
ν_S		1	0.849
N_u			1

	P	ν_S	N_u
P	1	–0.372	0.512
ν_S		1	0.588
N_u			1

Как следует из табл. 2, что ожидаемо, не наблюдается (<0.5) взаимной корреляции между исследуемыми параметрами *P* и *ν*.

При проведении регрессионного анализа установлены коэффициент детерминации и коэффициенты регрессии линейной системы уравнений (2) и их ошибки. Результат сведен в табл. 3. Качество модели, например, для Ташкента характеризует параметр R^2=0.972, откуда следует, что 97 % вариаций объясняется построенным регрессионным уравнением, и только 3 % объясняется неучтенными нами факторами и ошибками. Коэффициенты регрессии также приведены в табл. 3.

В табл. 3 приведено число обусловленности cond, которое выступает в качестве теста на мультиколлинеарность системы уравнений (в нашем случае 16000 уравнений) и определяет чувствительность выходной функции к изменениям на входе; в идеальном случае cond=1, в нашей практике несколько сотен. Также в ней приведен пробег для поглощения μ=1/β.

На рис. 1 приведены диаграммы рассеяния для среднесуточных значений параметров. В верхней части рисунка показаны зависимости освобожденной от первичных вариаций скорости счета от атмосферного давления, в нижней части – исправленные на атмосферное давление зависимости скорости счета от первичных вариаций. Статистическая точность детектора выше статистики Алма-Ата по сравнению со станцией Ташкент. Однако построенная модель для станции Алма-Ата работает несколько хуже. Следовательно, в модели не были учтены некоторые факторы. Возможно, что это эффект снега в осенне-весенний период, коррекция которого требует специального подхода [Кобелев и др., 2022].

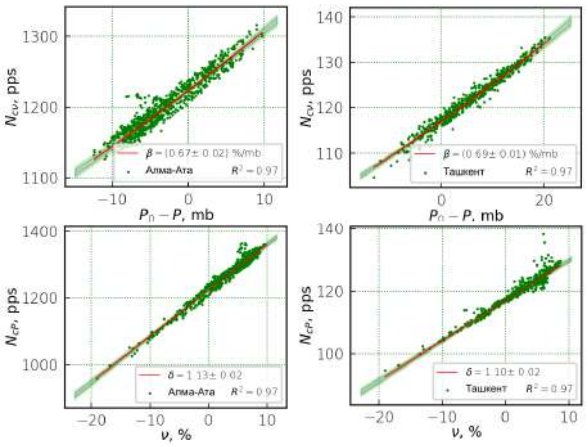

Рис. 1. Диаграммы рассеяния, формируемые при анализе данных детекторов Алма-Ата (слева) и Ташкент (справа) для периода 1991–1992 гг.

Таблица 3.

Результат регрессионного анализа для нейтронных супермониторов Алма-Ата и Ташкент.

	N, pps	R^2	σ_e, %	a_0±1	β±0.016, *%/hPa*	μ±1, г/см^2	δ±0.014, *%/%*	cond
Алма-Ата	1335	0.966	1.16	1223	0.668	155	1.126	125
Ташкент	132	0.967	0.98	117	0.686	151	1.096	213

ВЫВОДЫ

1) Разработана линейная трехпараметрическая модель вариаций космических лучей, учитывающая все характерные для нейтронной компоненты типы вариаций.

2) Барометрический коэффициент определяется с хорошей точностью и для Ташкента равен 0.666±0.016 %/hPa. Коэффициент вклада первичных вариаций близок к единице и равен 1.096±0.014 %/%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Дорман Л.И. Вариации космических лучей. М.: Гостехиздат, 1957. с. 285.

Кобелев П.Г., Трефилова Л.А., Оленева В.А., Янке В.Г. Метод коррекции данных нейтронных мониторов на эффект снега // Геомагнетизм и аэрономия. 2022. Т. 62, №. 6. P. 737–742. https://doi.org/10.31857/ S0016794022060086

Янчуковский В.Л., Калюжная М.А., Хисамов Р.З. Интенсивность нейтронной компоненты космических лучей и влажность воздуха. Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 1. С. 37–43. https://doi.org/10.12737/szf-101202405.

Hatton C.J., Carmichael H. Experimental invectigation of the NM-64 Neutron monitor. Canadian Journal of Physics. 1964. V. 42. P. 2443–2472. https://doi.org/10.1139/p64-222

Kobelev P.G., Dorman L.I., Trefilova L.A., Belov S.M., Yanke V.G. Monitoring of the thickness of the snow cover based on the neutron component data of cosmic rays // Proc. 37th ICRC. Berlin. PoS(ICRC2021)282. 2021. https://pos.sissa.it/395/282/pdf

Zreda, M., W. J. Shuttleworth, X. Xeng, C. Zweck, D. Desilets, T. E. Franz, R. Rosolem, and P. A. Ferre (2012), COSMOS: The Cosmic-ray Soil Moisture Observing System, Hydrol. Earth Syst. Sci. 9, 4505–4551. 2012. https://doi.org/10.5194/hessd-9-4505-2012 .