



**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY
TA'LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR
VAZIRLIGI**



**O'ZBEKISTON-FINLANDIYA PEDAGOGIKA
INSTITUTI**

**MATEMATIKA, FIZIKA VA INFORMATIKA FANLARINI
O'QITISHNING DOLZARB MUAMMOLARI**

Respublika ilmiy-amaliy anjumani materiallari to'plami

18-19-oktabr 2024-yil



SAMARQAND – 2024

Анализ метеорологических эффектов нейтронной компоненты космических лучей по данным среднеширотных станций

Хамраев¹ Ю.Б., Янке² В.Г.

¹Узбекско-Финский пединститут, Самарканд, Узбекистан yu-hamrayev@mail.ru

² Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн имени Н. В. Пушкова РАН, г. Москва, г. Троицк, Россия +7(495) 851-0925 yanke@izmiran.ru

Аннотация. Выполнена оценка метеорологических эффектов нейтронной компоненты космических лучей для среднеширотных станций Ташкент, Алма-Ата (горная) и Москва. Разработанная методика на основе многофакторного корреляционного анализа применима для обработки данных любых детекторов.

Введение.

При мониторинге космического излучения одновременно наблюдаются вариации различных типов - атмосферного, магнитосферного и гелиосферного происхождения [Дорман, 1972]. Амплитуды этих вариаций одного порядка, что усложняет их анализ.

Современный подход при исследовании атмосферных вариаций (КЛ) состоит в формировании модели вариаций, которая учитывает все характерные для рассматриваемого детектора типы вариаций КЛ (барометрический эффект, эффект влажности воздуха и др.) и исключает другие типы вариаций, в нашем случае вариации гелиосферного и магнитосферного происхождения.

Можно отметить последние работы, в которых проблема метеорологических эффектов нейтронной компоненты КЛ исследовалась детально [Nuntiyakul et al., 2014; Kobelev et al., 2011; Янчуковский и др., 2024]. В работе [Paschalis et al., 2013] дано описание метода и созданного онлайн-приложения для расчета барометрического коэффициента для сети нейтронных мониторов (<http://cosray.phys.uoa.gr/index.php/data/nm-barometric-coefficient>).

Отрицательный барометрический эффект обусловлен поглощением в атмосфере. Отрицательный эффект влажности обусловлен замедлением

нейтронов ядрами водорода водяного пара атмосферы и переходом нейтронов в область энергий ниже энергетического порога регистрации детектора.

Барометрические коэффициенты для нейтронных мониторов Ташкент и Алма-Ата, которые ранее использовались для всего периода наблюдений, равны 0.71 ± 0.01 %/мб и 0.72 ± 0.01 %/мб соответственно.

Целью настоящей работы является оценка барометрического эффекта и эффекта влажности нейтронной компоненты КЛ на примере среднеширотных станций Ташкент, Алма-Ата и Москва, включая период очень высокой солнечной активности.

Метод анализа и коррекции данных на атмосферные эффекты

Модель атмосферных вариаций нейтронной компоненты КЛ можно записать как

$$N_C = N_U \exp[-\beta(P_0 - P)] \times [1 - \varepsilon(H_0 - H_2)] \times (1 - \delta v_s). \quad (1)$$

Первый множитель – регистрируемая скорость счета, второй множитель учитывает экспоненциальное поглощение частиц, третий – линейное изменение потока частиц в зависимости от абсолютной влажности воздуха, четвертый – поправка на гелиосферные вариации КЛ.

В последнем выражении N_U и N_C регистрируемая и исправленная скорость счета детектора, P и H_2 – часовые значения атмосферного давления на уровне наблюдения и эффективные значения абсолютной влажности воздуха [Kobelev et al., 2021], P_0 и H_0 – среднее атмосферное давление и среднее значение абсолютной влажности воздуха, v^s – вариации опорного детектора. Абсолютная влажность воздуха H_2 определяется по данным относительной влажности h_2 и температуры t_2 [Калинин, 2023]. Логарифмируя выражение (1) и раскладывая в ряд Тейлора-Маклорена по малому параметру z логарифмы $\ln(1 \pm z) \cong \pm z$, мы переходим к линейному выражению

$$\ln N_C = \ln N_U - \beta(P_0 - P) - \varepsilon(H_0 - H_2) - \delta v_s, \quad (2)$$

т.е. все поправки вычитаются из вариаций неисправленной скорости счета детектора. В итоге получаем систему линейных уравнений регрессии относительно параметров $a_0 = \ln N_C$, ε , β и δ .

В качестве опорного детектора для детекторов Ташкент и Алма-Ата был использован нейтронный монитор Рим, для Москвы – Новосибирск. В работе привлекались данные нейтронных мониторов и атмосферного давления из базы <http://cr0.izmiran.ru/common/links.htm>. Данные приземной температуры и относительной влажности воздуха получены с локальных метеостанций.

Полученные результаты

Построена многофакторная модель (2) атмосферных вариаций КЛ для оценок и объяснения роли и взаимосвязи факторов β , ε и δ . Из-за отсутствия данных о влажности воздуха для станций Ташкент и Алма-Ата рассматривалась только двухфакторная модель, для станции Москва - трехфакторная модель. Результат приведен ниже в табл. 1

Табл.1. Корреляционная матрица для детекторов Алма-Ата, Ташкент и Москва.

Алма-Ата				Ташкент				Москва				
	P	v_s	N_u		P	v_s	N_u		P	H_2	v	N_u
P	1	0.096	0.574	P	1	-0.372	0.512	P	1	-0.121	0.001	0.993
v_s		1	0.849	v_s		1	0.588	H_2		1	0.104	-0.111
N_u			1	N_u			1	v			1	0.059
								N_u				1

Как следует из табл. 1, взаимной корреляции между исследуемыми параметрами P , H_2 и v_s не наблюдается, поскольку их значения корреляции <0.3 .

При проведении регрессионного анализа установлен коэффициент детерминации и коэффициент регрессии линейной системы уравнений (2) и их ошибки. Результат сведен в табл. 2. Качество модели атмосферных вариаций характеризует коэффициент регрессии R^2 , который больше 0.97, т. е. $>97\%$ вариаций КЛ объясняется построенным регрессионным уравнением и только $<3\%$ объясняется неучтенными нами факторами и ошибками.

Табл. 2. Результат регрессионного анализа.

	N, c^{-1}	R^2	$\sigma_e, \%$	$a_0 \pm 1$	$\beta \pm 0.016, \%/мб$	$\varepsilon \pm 0.002, \%/Г/М^3$	$\delta \pm 0.014, \%/ \%$
Алма-Ата	1335	0.966	1.16	1223	0.668		1.126
Ташкент	132	0.967	0.98	117	0.686		1.096
Москва	214	0.995	0.52	147	0.743	0.035	0.361

На рис. 1. приведены диаграммы рассеяния. В верхней части рисунка показаны зависимости исправленной от гелиосферных вариаций скорости счета от атмосферного давления, в нижней части – исправленные на атмосферное давление зависимости скорости счета от первичных вариаций КЛ. В каждом случае кроме облака рассеяния также приведены линии регрессии и соответствующие коридоры ошибок шириной 1σ и 2σ .

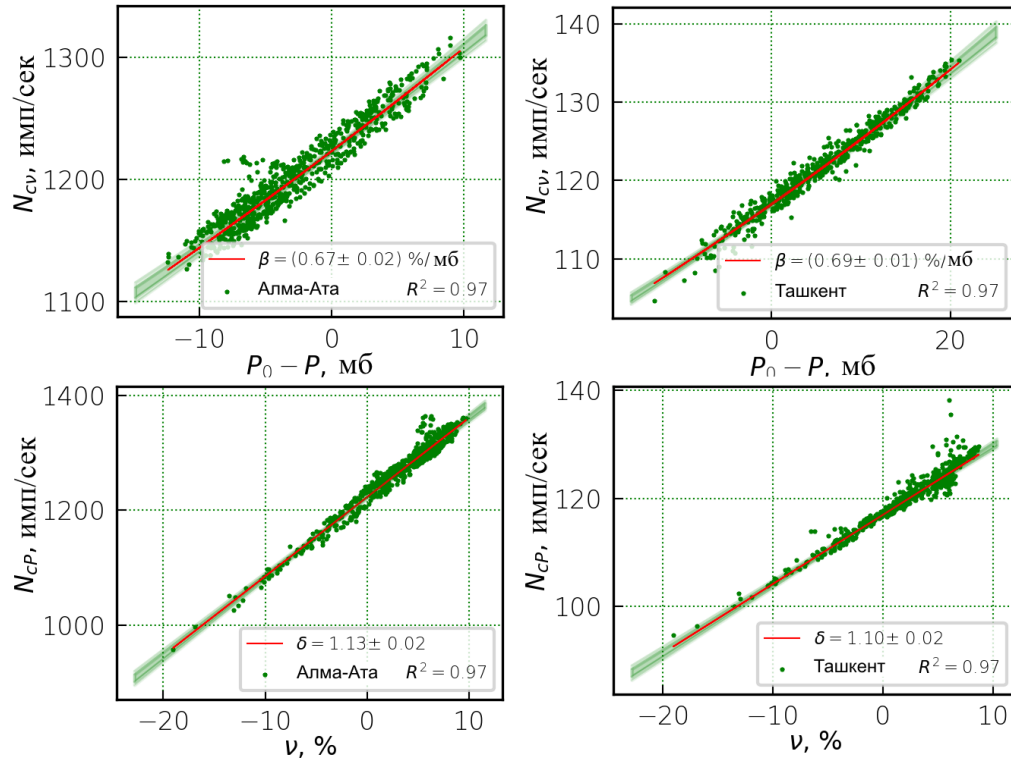


Рис.1. Диаграммы рассеяния, формируемые при анализе данных детекторов Алма-Ата (слева) и Ташкент (справа) для периода 1991-1992 годов.

На рис. 2 приведены гистограммы скоростей счета детекторов для рассматриваемых станций, которые позволяют наглядно представить тенденции изменения измеряемых параметров и зрительно оценить закон их распределения.

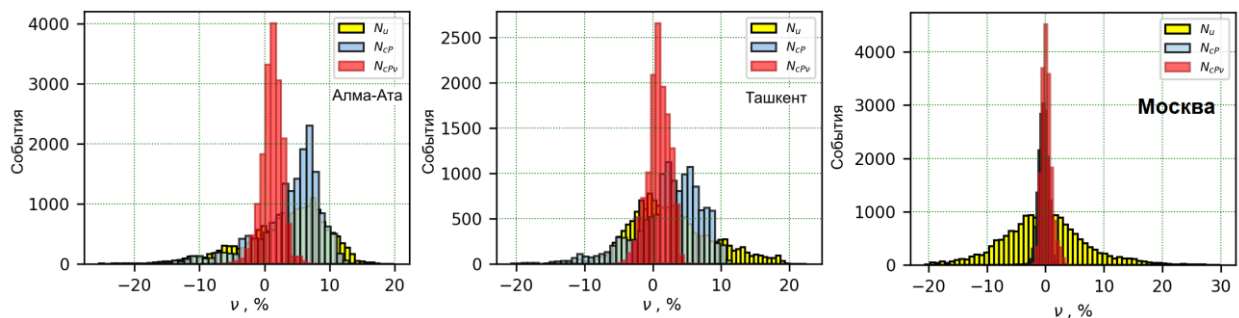


Рис. 2. Гистограммы распределений амплитуд вариаций КЛ для нейтронного монитора Алма-Ата и Ташкент по данным за период 1991-1992 и Москва для 2021-2022 года.

Распределение измеренной скорости счета N_u может иметь любую форму, распределение N_{cp} будет более узким, и можно ожидать, что распределение N_{cpV} , скорректированное на все типы вариаций КЛ в остатке имеет форму нормального распределения. Это хорошо видно на рис.2. Для горного детектора Алма-Ата (рис.2, средняя) гистограмма N_{cpV} незначительно смещена влево, что связано с влиянием снега [Кобелев и др., 2022].

На рис. 3. Проводится сравнение ожидаемых и скорректированных на барометрический эффект вариаций КЛ для детекторов Алма-Ата и Ташкент.

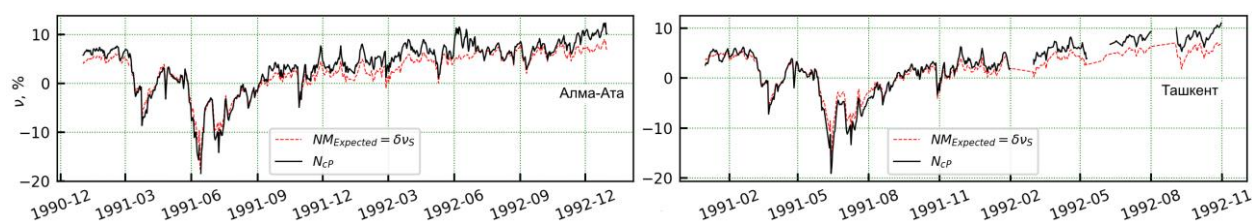


Рис. 3. Сравнение ожидаемых и исправленных на барометрический эффект наблюдаемых вариаций нейтронной компоненты для детекторов Алма-Ата и Ташкент.

Выводы

Предложена трехпараметрическая модель атмосферных вариаций КЛ.

В рамках трехпараметрической модели определен барометрический и коэффициент влажности для станции Москва.

Из-за отсутствия данных о влажности воздуха, для станций Ташкент и Алма-Ата определен только барометрический коэффициент.

Список литературы

- Дорман Л.И. Метеорологические эффекты космических лучей. М.: Наука. 1972. 211 с.
- Калинин Н. А. Физическая метеорология // Пермь. ПГУ. 2023. 257 с.
- <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/Kalinin-Fizicheskaya-meteorologiya.pdf>
- Кобелев П.Г., Трефилова Л.А., Оленева В.А., Янке В.Г. // Геомагнетизм и аэрономия. 2022. Т. 62, № 6. С. 737–742. <https://doi.org/10.31857/S0016794022060086>
- Янчуковский В.Л., Калюжная М.А., Хисамов Р.З. // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 1. С. 37–43. <https://doi.org/10.12737/szf-101202405>.
- Nuntiyakul W., Evenson P., Ruffolo D., Sáiz A., Bieber J.W., Clem J., et.al. // The Astrophysical Journal. 2014. Vol. 795:11 (13pp) <https://doi.org/10.1088/0004-637X/795/1/11>.
- Kobelev P., Belov A., Mavromichalaki E., Gerontidou M., Yanke V. // Proc. 32nd ICRC, Beijing. 2011. V. 11. P. 382–385. <https://galprop.stanford.edu/elibrary/icrc/2011/papers/SH4.2/icrc0654.pdf>.
- Kobelev P.G., Dorman L.I., Trefilova L.A., Belov S.M., Yanke V.G. // Proc. 37th ICRC, Germany, Berlin. 2021. <https://pos.sissa.it/395/282/pdf>
- Paschalis P., Mavromichalaki H., Yanke V., Belov A., Eroshenko E., Gerontidou M., Koutrompi I. // New Astronomy. 2013. Vol. 19. P.10–18, <http://dx.doi.org/10.1016/j.newast.2012.08.003>.