

## Вариации барометрических коэффициентов нейтронной компоненты в 22-23 циклах солнечной активности

Ю.Б.Хамраев

yu-hamrayev@mail.ru

З.У.Маматов

Ш.Э.Каршибоев

С.Х.Зоиров

Н.П.Тошмуродов

Узбекско-Финляндский Педагогический Институт

**Аннотация:** По данным ряда станций за два последних цикла солнечной активности вычислен барометрический коэффициент нейтронной компоненты космических лучей. Барометрический эффект в целом изучен достаточно хорошо, однако на многих станциях далеко не всегда учитывается изменение барометрических коэффициентов со временем. При анализе данных для определения барометрического коэффициента предварительно исключались первичные вариации, что позволило привлечь непрерывный ряд данных за весь исследуемый период.

**Ключевые слова:** барометрический эффект, космического излучения, мюонных телескопов, вариации, станции Newark, станции Москва, станции Киль, Форбуш

## Variations in barometric coefficients of the neutron component in solar activity cycles 22-23

Yu.B.Khamraev

yu-hamrayev@mail.ru

Z.U.Mamatov

Sh.E.Karshiboev

S.Kh.Zoirov

N.P.Toshmurodov

Uzbek-Finnish Pedagogical Institute

**Abstract:** Based on data from a number of stations for the last two cycles of solar activity, the barometric coefficient of the neutron component of cosmic rays was calculated. The barometric effect in general has been studied quite well, but at many stations the change in barometric coefficients over time is not always taken into

account. When analyzing data to determine the barometric coefficient, primary variations were previously excluded, which made it possible to use a continuous series of data for the entire study period.

**Keywords:** barometric effect, cosmic radiation, muon telescopes, variations, Newark station, Moscow station, Kiel, Forbush stations

## Введение

Барометрический эффект различных компонент вторичного космического излучения в целом изучен хорошо [1]. Найдена его высотная и широтная зависимости, в первую очередь для нейтронной компоненты [2]. Вычислены барометрические коэффициенты для всех действующих мюонных телескопов [3]. Для некоторых станций выполнены исследования зависимости барометрического эффекта со временем [4]. Однако на большинстве станций приведение наблюдаемой скорости счета к стандартному уровню наблюдения все еще выполняется недостаточно точно. В первую очередь это относится к временной зависимости барометрического коэффициента. Нужно помнить, что ошибка в  $0.02\%/mb$  в его определении может приводить к  $1\%$  ошибки в исправляемых вариациях.

Основная задача настоящей работы - это развитие методики оценки барометрического эффекта и его зависимости от времени для станций Мировой сети, как имеющие продолжительные ряды наблюдений, так и начавших свою работу недавно.

Методы определения барометрического коэффициента.

Скорость счета детектора  $N$  с учетом первичных вариаций  $\delta$  можно представить как

$$N = N_0 / (1 + \nu) \exp(-\beta(h - h_0)), \quad (1)$$

где  $h$  барометрическое давление в данный момент,  $N_0$  и  $h_0$  значения скорости счета и давления средние за интервал определения барометрического коэффициента. Относительно этого же интервала определяется и вариация скорости счета  $\nu$ . Логарифмированием, мы переходим к линейному относительно  $\beta$  выражению

$$\ln N - \ln N_0 + \ln(1 + \nu) = -\beta(h - h_0) \quad (2)$$

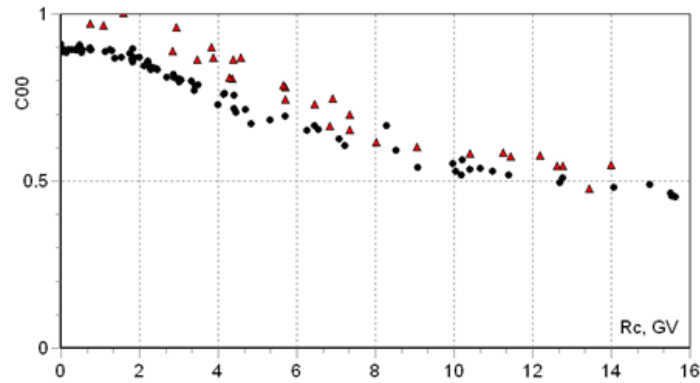
Можно рассматривать несколько методов.

а) Случай, когда в течение рассматриваемого периода вообще можно пренебречь вариациями ( $\nu \approx 0$ ).

$$\ln N - \ln N_0 = -\beta(h - h_0). \quad (3)$$

б) Вариации можно исключить по данным опорной станции  $S$  с близкими параметрами. Пусть для опорной станции приемный коэффициент нулевой

гармоники равен  $C_0^S$  (рис. 1) и определены вариации опорной станции, зависящие от времени,  $v^S$ .



**Рис. 1** Приемные коэффициенты нулевой гармоники. Треугольниками показаны приемные коэффициенты горных станций.

Тогда можно записать

$$\ln N - \ln N_0 + \ln\left(1 + \frac{C_0}{C_0^S} v_s\right) = -\beta(h - h_0) \quad (4)$$

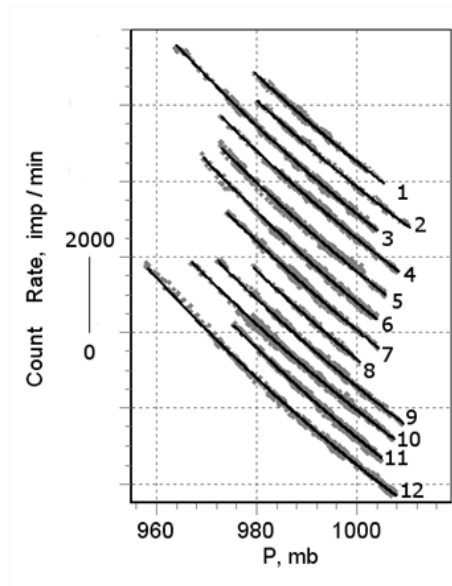
Выражение для оценки  $\beta$  мы свели к предыдущему варианту однопараметрическому представлению. Такой подход справедлив, если можно пренебречь вариациями первой и более высоких гармоник или рассматривать среднесуточные данные.

с) Если вариации незначительные ( $v \leq 0.2$ ), то после разложения в выражении (2)  $\ln(1 + v)$  можно записать

$$\ln N - \ln N_0 \cong -\beta(h - h_0) - \alpha v_s \quad (5)$$

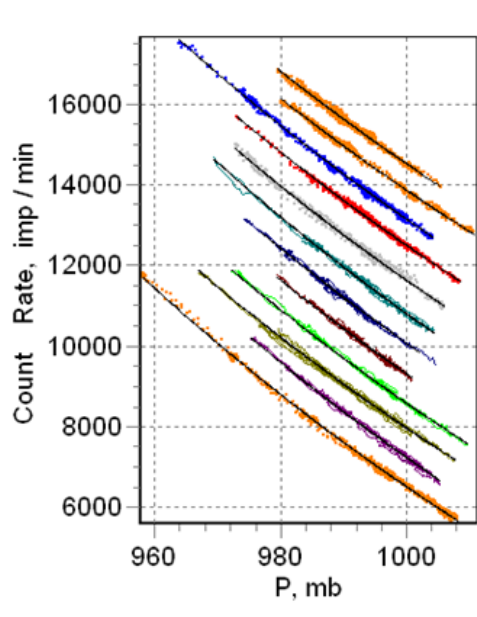
Мы свели к варианту двухпараметрического представления для оценки параметров  $\alpha$  и  $\beta$ . Параметр  $\alpha$  по существу есть  $\alpha = C_0 / C_0^S$ , но в этом случае он определяется экспериментально.

Очевидно, что при выборе местоположения опорной станции необходимо исходить из следующих условий. С одной стороны исследуемая и опорная станции должны находиться как можно ближе друг к другу и иметь близкие жесткости геомагнитного обрезания, находиться примерно на одной высоте над уровнем моря. С другой стороны эти станции не должны находиться слишком близко друг к другу, чтобы избежать тесной корреляции барометрических давлений. Не должны находиться далеко друг от друга, чтобы минимизировать вклад анизотропных вариаций космических лучей.



*Рис. 2. Зависимость скорости счета детектора от атмосферного давления для спокойного периода 2009 года на станции Москва.*

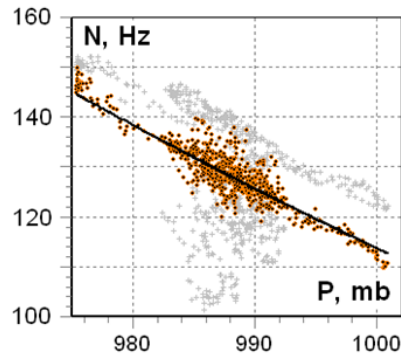
Исходные данные. Нами использовались среднечасовые значения скорости счета и атмосферного давления. Однако, чтобы контролировать и уменьшить влияние анизотропии космических лучей нами параллельно проводились вычисления на базе среднесуточных значений. Недостатками этого варианта является более узкий диапазон изменений давления и, главное, неполное соответствие скорости счета и давления, если в течение суток происходили большие изменения скорости счета или атмосферного давления. Барометрический коэффициент рассчитывался отдельно за каждый месяц. Это достаточный период для оценки барометрического коэффициента.



*Рис 2. 2. Зависимость скорости счета детектора от атмосферного давления для 2009 года для спокойного периода.*

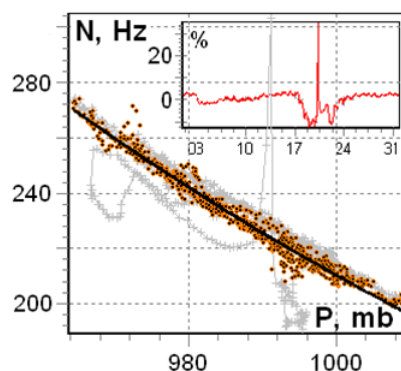
### Обсуждение результатов.

Для визуального и контроля качества данных для каждой станции и исследуемого периода строились зависимости скорости счета детектора от атмосферного давления. В качестве примера такие зависимости в спокойный и возмущенный период и результат аппроксимации приведены на рис. 2.2 и 2.3 .



*Рис3. 3. Пример зависимости неисправленной и исправленной на вариации скорости счета детектора от атмосферного давления для сильно возмущенного периода июня 1991 года.*

В случае спокойного периода 2009 года вследствие больших изменений атмосферного давления отчетливо просматривается нелинейная зависимость скорости счета от атмосферного давления. Данные неисправленные и исправленные на первичные вариации практически не различимы, что нельзя сказать в случае возмущенного периода, пример которого приведен на рис. 2.3. В июле 1991 года наблюдалось очень большое Форбуш понижение ( $\sim -00\%$ ). На рис 2.4 показан другой пример вариаций при изменении потока солнечных частиц - вспышка в январе 2005 года ( $\sim 20\%$ ). Эти яркие примеры показывают, что исправление на вариации с учетом только нулевой гармоники позволяет с вполне удовлетворительной точностью определять данные даже за эти периоды. Для более корректной оценки барометрического эффекта в такие возмущенные периоды их следует или исключить из рассмотрения, или привлекать модель вариаций, учитывающую более высокие гармоники.

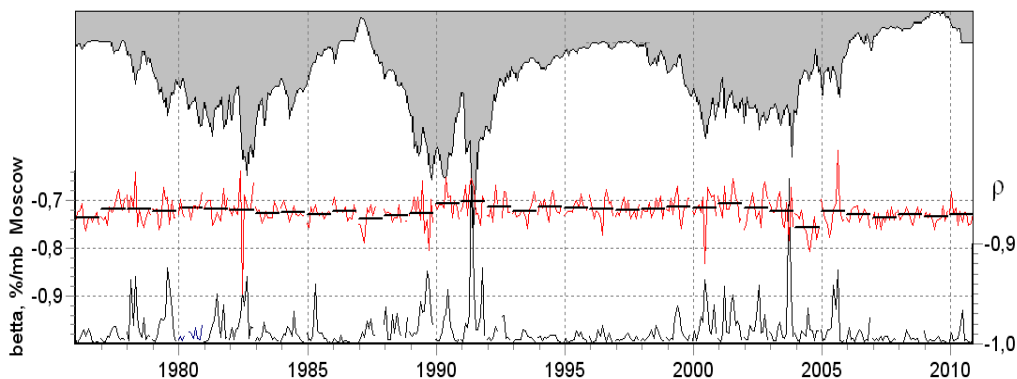


*Рис 2.4. Пример зависимости неисправленной и исправленной на вариации скорости счета детектора от атмосферного давления для периода солнечной вспышки в январе*

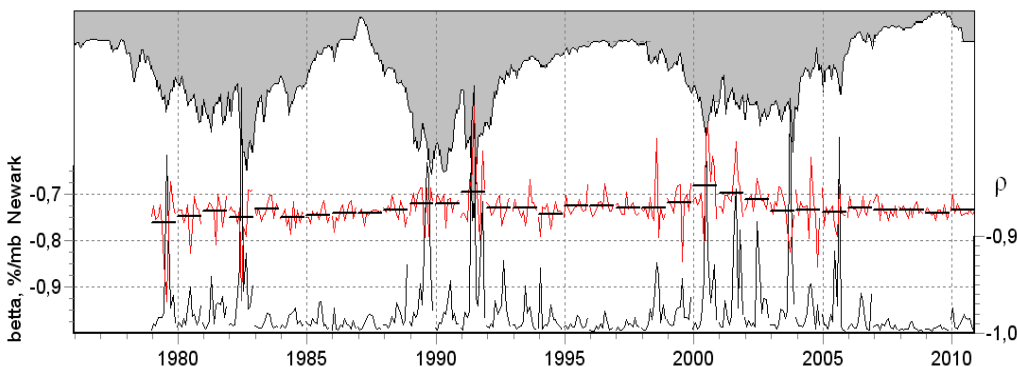
В соответствии с описанной методикой нами проведена оценка барометрического коэффициента станции Москва, данные которой исправлялись на вариации по данным станции Newark. И наоборот, был вычислен барометрический коэффициент станции Newark, но в качестве опорной станции использовалась уже станция Москва.

На рис. 2.5 показаны среднемесячные и среднегодовые (горизонтальные кривые) значения барометрического коэффициента (левая шкала) за период 1977-2010годы станции Москва. На нижней панели рис. 2.5 приведен также коэффициент корреляции (правая шкала) для станции. Линия, ограничивающая заштрихованную область в верхней панели, представляет собой плотность галактических космических лучей, полученную методом глобальной съемки. В качестве опорной станции использовалась станция Newark. На рис. 6 показан уже результат для станции Newark, однако в качестве опорной станцией в этом случае используется станция Москва.

На рис. 2.7 и 2.8 представлены результаты расчета барометрических коэффициентов для станции Kiel за период 1965-2010 годы с опорной станцией Москва, и станции Москва с опорной станцией Kiel соответственно.



*Рис. 5. Результат анализа барометрического эффекта станции Москва, исправленная на вариации по данным станции Newark.*



*Рис. 6. Результат анализа барометрического эффекта станции Newark, исправленная на вариации по данным станции Москва.*

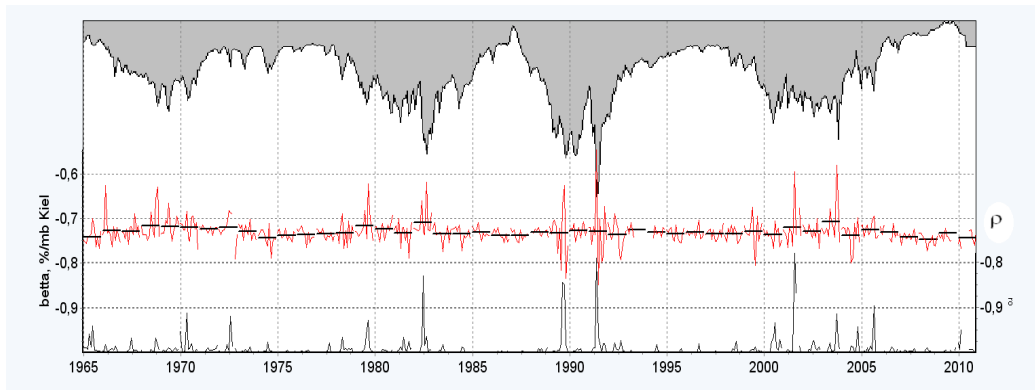


Рис. 7. Результат анализа барометрического эффекта станции Киль, исправленная на вариации по данным станции Москва.

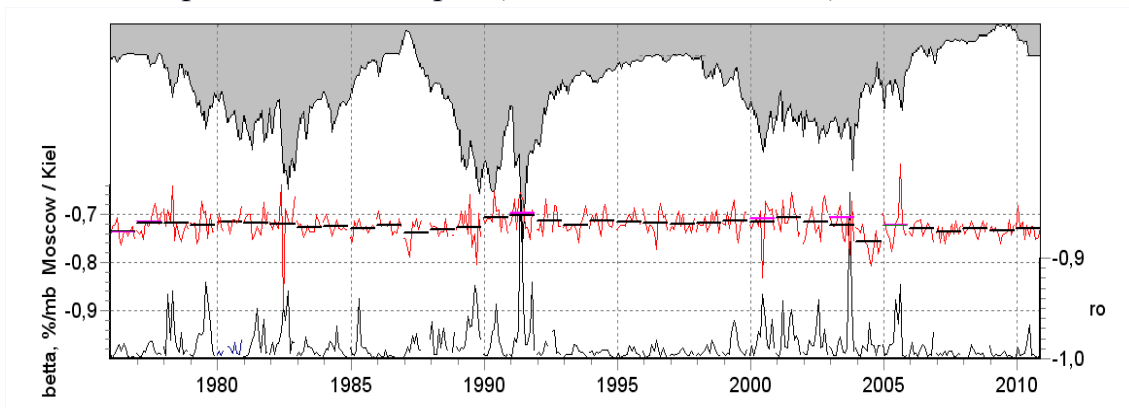


Рис.8. Результат анализа барометрического эффекта станции Москва, исправленная на вариации по данным станции Киль.а

Исследуем подробнее зависимость барометрического коэффициента от первичных вариаций космических лучей. В работе [4,5] показано, что модуляция барометрических коэффициентов нейтронных мониторов достаточно хорошо описывается двух параметрической выражением  $\beta = \beta_0 + \alpha \frac{V_s}{1 + V_s}$ , где  $V_s$  экспериментально определяемая вариация скорости счета нейтронного монитора на опорной станции, а  $\alpha$  определяет чувствительность барометрического коэффициента к изменениям спектра вариаций. За базовый период в [4] и в данной работе взят год 1976 и в этот период  $\beta = \beta_0$ . Однако, в качестве индикатора вариаций удобнее брать, например, амплитуду нулевой гармоники космических лучей  $a_{10}$  [6], которая определяется в результате анализа данных мировой сети станций и поэтому является статистически более обеспеченной. Амплитуда нулевой гармоники описывает вариации за пределами магнитосферы. Наблюдаемые вариации в приближении нулевой гармоники, определяются амплитудой и приемными коэффициентами нулевой гармоники  $C_0$ . С учетом этого зависимость барометрического коэффициента от первичных вариаций космических лучей можно записать как

$$\beta = \beta_0 - \alpha \frac{C_0 a_{10}}{1 + C_0 a_{10}} . (6)$$

На рис. 8 и 9 приведены зависимости среднемесячных значений барометрического коэффициента нейтронного монитора станции Москва и станции Киль за весь период наблюдений, вычисленные по формуле (6). Показаны также экспериментально найденные в [7,8] барометрические коэффициенты для этих станций для 22 цикла СА.

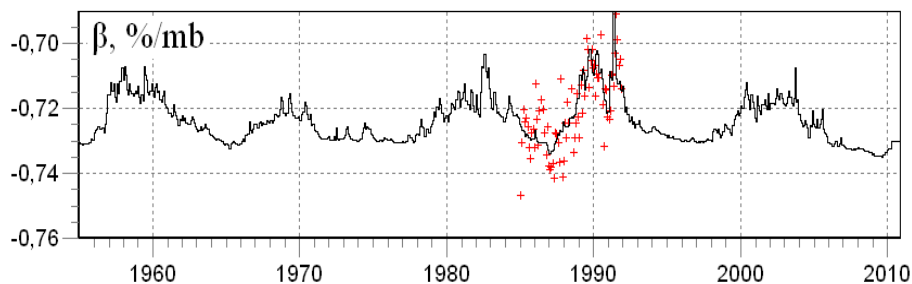
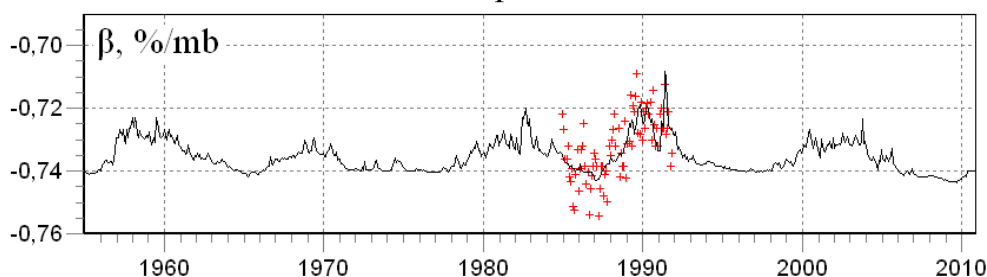


Рис.9. Среднемесячные значения барометрического коэффициента для птб4 Москва за весь период наблюдений.



Виртуальные лаборатории также используются для расчета барометрического коэффициента нейтронной компоненты космических лучей [10].

#### Выводы

Использованная методика позволяет удовлетворительно оценить долгосрочные изменения барометрического коэффициента для нейтронных детекторов Мировой сети станций космических лучей. Однако, было бы крайне полезно увеличить точность определения барометрического коэффициента до нескольких тысячных %/mb особенно в периоды высокой солнечной активности. Это можно достичь, привлекая для исключения вариаций более полную модель вариаций, учитывающую более высокие гармоники.

#### Использованная литература

1. Дорман Л.И. Метеорологические эффекты космических лучей. М.: Наука, 1972. 211с.
2. Carmichael H., Bercovitch M., Shea M.A., Magidin M., Peterson R., Attenuation of neutron monitor radiation in the atmosphere. *Canad. J. Phys.*, 1968, 46, no. 10, part 4, p.1006
3. Метеоэффект. <http://cr0.izmiran.rssi.ru/gmdnet/COMMON/MeteoEffect/MeteoEffect.pdf>



4. Grittits W.K., Harman C.V., Hatton C.G., Ryder P., Proc. 9th ICRC, London, 1, 475, 1965
5. Белов А.В., Далгатова Х.И., Ерошенко Е.А. "Долговременная модуляция барометрических коэффициентов нейтронной компоненты", Геомагнетизм и Аэронавигация, том 32, N 6, 19-24, 1992.
6. Belov A.V., Gushchina R.T., Sirotina I., Proc 23th ICRC, Calgary, V3, 605, 1993.
7. Белов А.В., Далгатова Х.И., Ерошенко Е.А., Перс К. "Модуляция барометрических коэффициентов нейтронных мониторов станций Киль и Москва в 22-м цикле солнечной активности", Геомагнетизм и Аэронавигация, том 33, N 4, 37-44, 1993.
8. Belov A.V., Dalgatova Kh.I., Eroshenko, E.A., Roers, K., "Long Time Modulation of Neutron Monitors Barometric Coefficients", Proc 23th ICRC, Calgary, V3, 613-616, 1993.
9. Барометрические коэффициенты детекторов космических лучей [ftp://cr0.izmiran.ru/COSRAY!/FTP\\_METEO/\(MeteoConstants\)/NM](ftp://cr0.izmiran.ru/COSRAY!/FTP_METEO/(MeteoConstants)/NM)
10. Sanjaridin Z., Temur X. METHODS OF CREATING VIRTUAL LABORATORIES IN THE "LABVIEW" PROGRAM //Science and Innovation. - 2023. - Т. 2. - №. 11. - С. 519-523.