

УДК 523.98; 551.590.21

Ш.Г. Гиниятова, А.К. Морзабаев, Г.А. Шаханова

*Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан*  
(E-mail: giniyat\_shol@mail.ru)

### **Методика учета влияния атмосферного давления на интенсивность космических лучей по данным детектора CARPET**

Статья посвящена изучению космических лучей с помощью детектора CARPET, установленного на физико-техническом факультете Евразийского университета г. Астаны. Детектор позволяет регистрировать общий поток ионизирующей компоненты вторичных космических лучей, а также заряженные частицы радиоактивного происхождения. Экспериментальные данные, полученные с помощью детектора, позволяют проводить анализ как вариаций потоков вторичных космических лучей, так и влияния геомагнитной и солнечной активности на процессы, от которых зависит поведение космических лучей в околоземном пространстве и в атмосфере Земли, а также проводить мониторинг радиационной обстановки в приземной атмосфере. В статье показано, что атмосферное давление влияет на интенсивность космических лучей, поэтому предлагается методика учета такого влияния путем корректировки экспериментальных данных.

*Ключевые слова:* барометрический коэффициент, интенсивность космических лучей, детектор CARPET.

#### *Введение*

Научный детектор космических лучей CARPET («Ковер») предназначен для непрерывного мониторинга потока космических лучей на уровне Земли. Наряду с космическими лучами регистрируются также заряженные частицы радиоактивного происхождения. Установка CARPET позволяет разделять данные виды частиц. В связи с этим детектор может быть использован и для мониторинга радиационной обстановки в приземной атмосфере.

Детектор космических лучей CARPET (ASTANA) установлен в 2016 г. на физико-техническом факультете ЕНУ им. Л.Н.Гумилева (Астана, Казахстан, 51°10'48" с.ш., 71°26'45" в.д., жесткость геомагнитного обреза  $R_c \sim 2,5$  ГэВ). Детектор разработан и создан в Физическом институте Академии наук им. П.Н.Лебедева в рамках договора о международном сотрудничестве между ФИАН (Россия) и ЕНУ (Казахстан).

Прототипы детектора CARPET (ASTANA) – CARPET (CASLEO) в 2006 г. были установлены в астрономическом комплексе El Leoncito в Аргентинских Андах на высоте 2550 м (Аргентина, 31.8° с.ш., 69.3° в.д.,  $R_c \sim 9.65$  ГэВ) и CARPET/GCR — в 2009 г. в Европейском центре ядерных исследований (Женева, Швейцария) [1, 2]. С помощью детектора CARPET/GCR в ЦЕРНе проводятся непрерывные измерения потоков заряженных частиц в рамках проведения эксперимента CLOUD.

Научный детектор CARPET предназначен для непрерывного мониторинга общего потока ионизирующей компоненты вторичных космических лучей на уровне Земли. Наряду с космическими лучами регистрируются также заряженные частицы радиоактивного происхождения. Экспериментальные данные, полученные с помощью детектора, позволяют проводить анализ как вариаций потоков вторичных космических лучей, так и влияния геомагнитной и солнечной активности на процессы, от которых зависит поведение космических лучей в околоземном пространстве и в атмосфере Земли, а также проводить мониторинг радиационной обстановки в приземной атмосфере.

Детектор представляет собой сборку из 120 газоразрядных счетчиков СТС-6, собранных в вертикальные блоки (телескопы), которые расположены на металлической платформе. Каждый блок состоит из 10 счетчиков и 7-мм алюминиевого фильтра, который разделяет горизонтальный слой верхних счетчиков (5 штук) и нижних счетчиков (5 штук). Фильтр поглощает все низкоэнергичные частицы (радиоактивность) и пропускает только энергичные частицы космических лучей. Все счетчики детектора помещены в один корпус, имеющий прямоугольную форму. Они объединены электрически, через электронный модуль управления и счёта в 3 суммирующие счётные схемы. В канале данных  $N_1$  идет суммирование счёта всех верхних счётчиков,  $N_2$  — суммирование счёта всех нижних счётчиков и в канале  $N_{12}$  — суммирование всех одновременно сработавших пар счётчиков (верхний и нижний счётчики одновременно).

В каналах данных  $N_1$  и  $N_2$  регистрируются следующие частицы: электроны с энергиями  $\geq 0,2$  МэВ, протоны с  $E > 5$  МэВ.

Все совпадения одновременных срабатываний верхнего и нижнего счётчиков любого телескопа прибора суммируются в счётчике 3-го канала ( $N_{12}$ ). Более энергичные частицы регистрируются в канале совпадений ( $N_{12}$ ): электроны с энергиями  $> 5$  МэВ, протоны с  $E > 30$  МэВ и мюоны с  $E > 15,5$  МэВ.

Общий вид установки показан на рисунке 1. Слева — внутренний вид детектора, справа — местоположение прибора в ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Астана, Казахстан). Первый блок детектора «CARPET» установлен на физико-техническом факультете, а второй — вне здания. В отличие от первого блока в нем дополнительно предусмотрена температурная стабилизация.

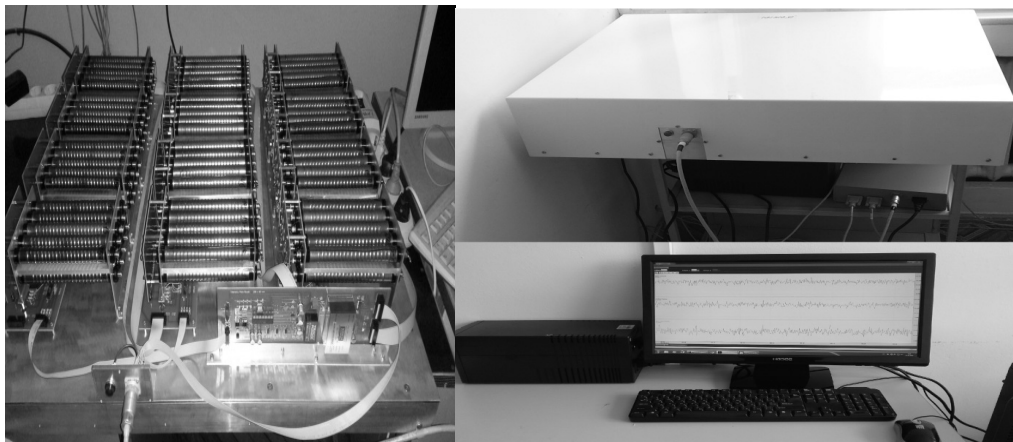


Рисунок 1. Детектор CARPET/ASTANA

Уменьшение измеренной интенсивности космических лучей из-за атмосферного давления на Земле является хорошо известным явлением [1]. В случае постоянного потока падающих космических лучей измеренная интенсивность  $N$  зависит только от локального атмосферного давления, и эта зависимость может быть описана с помощью выражения

$$dN = -\beta \cdot dP, \quad (1)$$

где  $dN$  — изменение измеренной интенсивности из-за изменения давления ( $dP$ ) и  $\beta$  — барометрический коэффициент.

Интегрируя это выражение и полагая, что для давления  $P_0$  измеренная интенсивность  $N_0$ , получаем скорость счёта  $N$  детектора при атмосферном давлении  $P$ :

$$N = N_0 \cdot e^{-\beta(P-P_0)}. \quad (2)$$

Логарифмируя обе части уравнения (2), получаем следующее выражение:

$$\ln N - \ln N_0 = -\beta \cdot (P - P_0). \quad (3)$$

Как уже отмечалось выше, уравнение (3) справедливо для случая, когда падающий поток космических лучей является стабильным, тогда любое изменение измеренной скорости счёта будет зависеть от изменения давления.

Для учета вариации потока космических лучей измеренная интенсивность должна рассчитываться так:

$$N' = N_0 \cdot (1 + v), \quad (4)$$

где  $N_0$  — измеренная интенсивность при стабильном потоке космических частиц, а коэффициент  $(1 + v)$  учитывает вариации потока космических лучей.

С учетом (4) уравнения (2) и (3) запишутся в следующем виде:

$$N' = N \cdot (1 + \nu) \cdot e^{-\beta(P - P_0)}, \tag{5}$$

$$\ln N - \ln N_0 - \ln(1 + \nu) = -\beta \cdot (P - P_0). \tag{6}$$

Вариации  $\nu$  можно рассчитать с помощью корректировки данных по давлению с опорной станцией (S) [2]. Станция (S) должна иметь такую же жесткость, как и базовая станция, для того чтобы они имели предположительно схожие спектры космических лучей.

Уравнения (3) и (6) могут быть использованы для экспериментального расчета барометрического коэффициента путем применения линейной регрессии к измеренным значениям переменных, представленных в уравнениях в течение определенного периода времени. Параметры  $N_0$  и  $P_0$  можно рассматривать как средние значения  $N_0$  и  $P$  соответственно, за определенный период времени [1]. Подробнее этот метод расчета приведен в [3].

В нашей работе барометрический эффект учитывался двумя способами: по формулам (1) и (3).

### Результаты

Результаты расчета барометрического коэффициента по формулам (1) и (3) будут представлены ниже, с помощью графиков за февраль 2017 г. Скорректированные данные изменения интенсивности за февраль 2017 г., рассчитанные по формуле (1), представлены на рисунке 2.

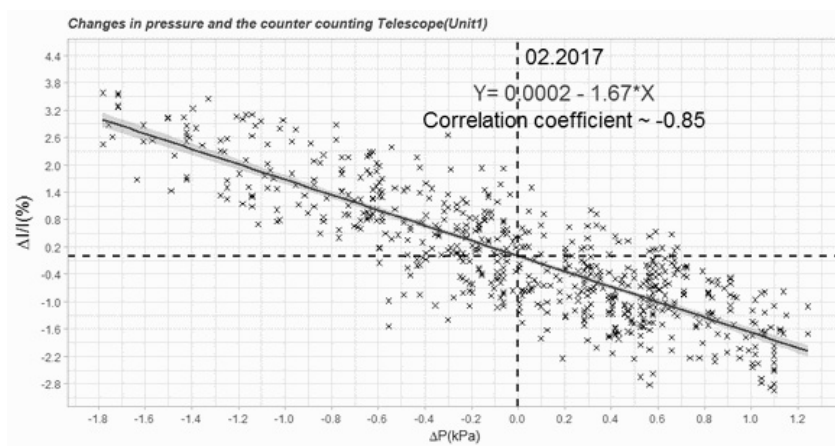


Рисунок 2. Расчет барометрического коэффициента за февраль 2017 г. по формуле (1) для данных CARPET

Из рисунка видно, что для телескопа Unit1 получаем для февраля 2017 г.

$$\beta = -1,67 \text{ \%}/\text{кПа}.$$

Скорректированные данные изменения интенсивности за февраль 2017 г., рассчитанные по формуле (3), представлены на рисунке 3.

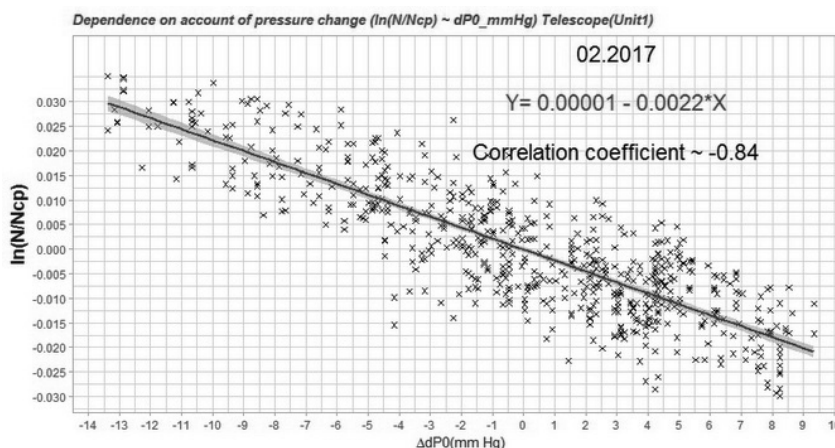


Рисунок 3. Расчет барометрического коэффициента за февраль 2017 г. по формуле (3) для данных CARPET

Барометрический коэффициент в этом случае равен  $\beta = -0.0022$  (1/ mmHg).

Расчеты по I и II методу практически абсолютно совпадают, как видно из графика рисунка 3. При расчете использовались среднечасовые значения счета и средние значения давления. Давление получено на основе данных метеостанции Астана, так как значения давления метеостанции и CARPET одинаковы (среднечасовые и 30 мин). Динамика изменения скорректированных на давление, нескорректированных данных и давления приведены на графике рисунка 4.

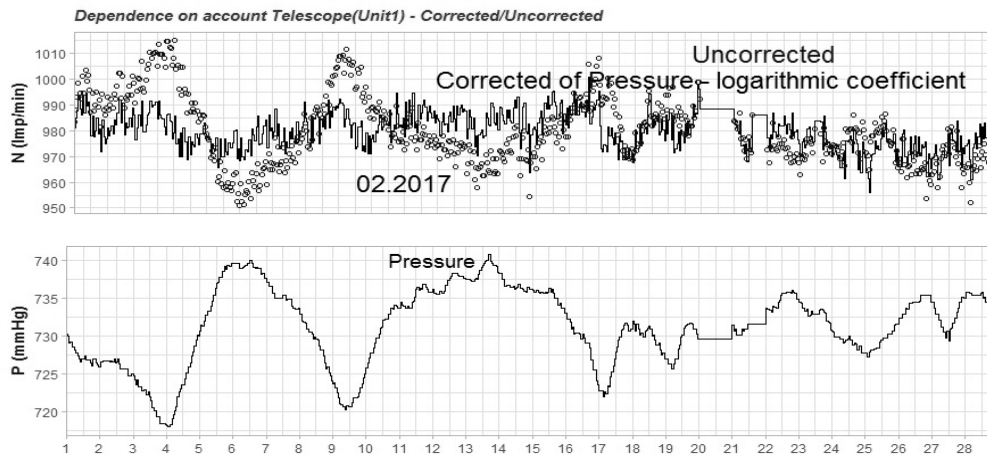


Рисунок 4. Изменение скорректированных на давление, нескорректированных данных детектора CARPET и давления

Как видно из рисунка 4, наблюдается значительная поправка на барометрический эффект, и изменение первичного счета детектора существенно зависит от изменения давления.

#### Выводы

1. Коррекция первичных данных станции из-за барометрического эффекта позволяет получать качественные данные, которые могут использоваться другими исследователями при их публикации в общей базе данных.
2. При относительно спокойном солнце, когда поток космических частиц постоянный, расчет барометрического коэффициента можно производить без опорной станции, что и сделано в данной работе.
3. Если солнце активно, то нужно учесть дополнительно и вариации космических частиц. В этом случае надо корректировать данные эксперимента с помощью опорной станции.

#### Список литературы

- 1 [Electronic resource]. — Access mode: <http://cosray.phys.uoa.gr/nmdb-barometric>
- 2 Chiba T., 1976. Ann. Rep. Fac. Educ., Iwate Univ. — P. 36.
- 3 Kobelev P. Variations of Barometric Coefficients of the Neutron Component in the 22–23 Cycles of Solar Activity / P. Kobelev, A. Belov, E. Mavromichalaki, M. Gerontidou, V. Yanke // 32nd Intern. Cosmic Ray Conf. (ICRC): Proc. Beijing. 2011. — 4 p.

Ш.Г. Гиниятова, А.К. Морзабаев, Г.А. Шаханова

### **CARPET детекторы бойынша атмосфералық қысымның ғарыштық сәулелер қарқындылығына әсерін тіркеу әдістемесі**

Мақала ғарыштық сәулелерді зерттеуге арналған және Астана қаласындағы Еуразия ұлттық университетінің физика-техника факультетінде орналасқан CARPET детекторының көмегі арқылы жасалынды. Детектор екінші ретті ғарыштық сәулелердің иондалған компоненттерінің жалпы ағынын және зарядталған бөлшектерді тіркеуге мүмкіндік береді. Тәжірибе нәтижелері бойынша Жер атмосферасындағы ғарыштық сәулелердің әрекеттеріне байланысты екінші ғарыштық сәулелер ағынының вариациясын және осы үрдіске ықпалын тигізетін геомагниттік, Күн белсенділігін талдауға, сонымен қатар Жер атмосферасының радиациялық жағдайын бақылауға болады. Мақалада атмосфералық қысым ғарыштық сәулелердің қарқындылығына байланысты әсері көрсетілген. Сол себепті авторлар бұл тәжірибе нәтижелерін түзету жолдары әдістемесімен жүргізуге ұсынды.

*Кілт сөздер:* барометрлік коэффициент, ғарыштық сәулелердің қарқындылығы, CARPET детекторы.

Sh.G. Giniyatova, A.K. Morzabaev, G.A. Shahanova

### **The method of accounting for the effect of atmospheric pressure on the intensity of cosmic rays by CARPET detector**

The article is devoted to the study of cosmic rays by CARPET detector, installed at the Physics and Technology Faculty of the Eurasian National University in Astana. The detector makes it possible to register the total flux of the ionizing component of the secondary cosmic rays, as well as charged particles of radioactive origin. The experimental data obtained by the detector and make it possible to analyze the variations of the fluxes of secondary cosmic rays and the influence of geomagnetic and solar activity on the processes that influence the behavior of cosmic rays in near-Earth space and in the Earth's atmosphere and also monitor the radiation situation in the atmosphere. The article shows that atmospheric pressure affects the intensity of cosmic rays, therefore, a technique is suggested for taking this effect into account by correcting the experimental data.

*Keywords:* barometric coefficient, the intensity of cosmic rays, the CARPET detector.