

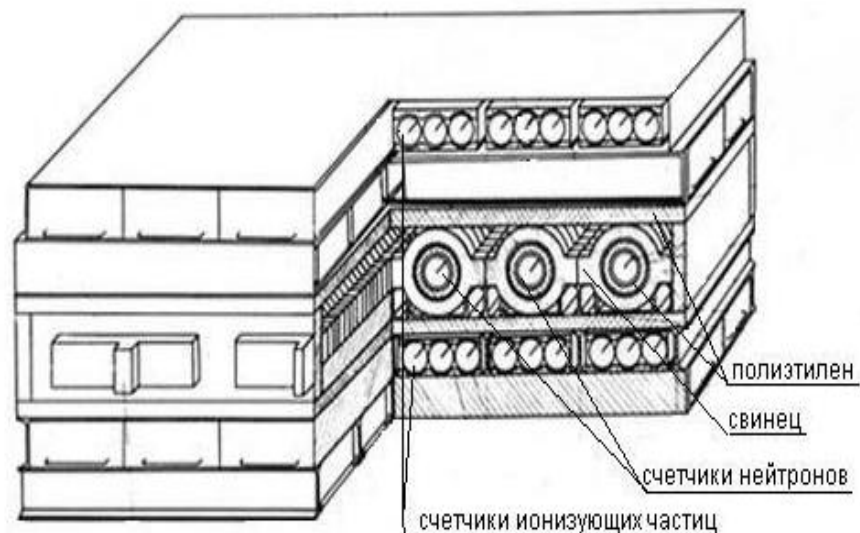
ВАРИАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ РАЗЛИЧНЫХ ИЗОБАРИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

В.Л. Янчуковский¹, С.А. Сюняков¹

¹Алтае-Саянский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геофизической службы Сибирского отделения Российской академии наук (АСФ ГС СО РАН)

vianch@gs.nsc.ru, ssyunyakov@mail.ru

Наблюдаемые вариации интенсивности космических лучей (КЛ) содержат информацию о спектре модуляции первичного потока КЛ в межпланетном пространстве, об изменениях жесткости геомагнитного обрезания, вызванные возмущениями в магнитосфере, об изменениях плотности и температурного режима атмосферы. Для анализа наблюдаемых вариаций КЛ и разделения их на составляющие различной природы необходимы многоканальные системы наблюдений, информационные каналы которых значительно отличались бы по своим параметрам. Многоканальный наблюдательный комплекс КЛ в Новосибирске [1] обеспечивает получение информации о вариациях интенсивности КЛ в области энергий от 3 до 200 ГэВ с различных азимутальных направлений под различными углами к зениту.





Вариации интенсивности, регистрируемой каналом n комплекса в пункте c на уровне атмосферы h_0 , связаны с первичным спектром КЛ $D(R)$, жесткостью геомагнитного обрезания R_c , температурой атмосферы T и атмосферным давлением h , следующим образом

$$\frac{\Delta I_n}{I_{n c}}(h_0, t) = \int_{R_c}^{\infty} \frac{\Delta D}{D}(R, t) W_n(R, h_0) dR - \Delta R_c(t) W_n(\bar{R}_c, h_0) + \left\{ \exp \left[- \int_{h_0}^h \beta_n(h) dh \right] - 1 \right\} + \int_0^h w_n(T_0, h_0, h) \Delta T(h, t) dh \quad (1)$$

где $W_n(R, h_0)$ - функция энергетической чувствительности канала n или коэффициент связи согласно определению [2]; $\beta_n(h)$ - барометрический коэффициент канала; $w_n(T_0, h_0, h)$ - функция плотности температурных коэффициентов, отражающая вклад слоев атмосферы в создании интегрального температурного эффекта интенсивности; $\Delta T(h)$ - временные вариации температуры атмосферы от высоты. Решение системы уравнений (1) представлено нами в [3] и на примере многолетних наблюдений с помощью комплекса КЛ показана возможность мониторинга первичного потока КЛ, жесткости геомагнитного обрезания, плотности и среднемассовой температуры атмосферы.

Таким образом, становятся известны основные составляющие вариаций КЛ, в том числе и составляющая, обусловленная изменениями температурного режима атмосферы. Знание температурной составляющей вариации интенсивности мюонов, регистрируемых в каналах комплекса, и распределения плотности температурных коэффициентов интенсивности мюонов в атмосфере, которые были найдены нами методом главных компонент ранее [4], позволяют перейти к задаче оценки вариаций температуры на различных изобарах атмосферы.

Определение вариаций температуры на различных изобарических уровнях атмосферы с помощью космических лучей приводит к необходимости иметь число каналов мюонного телескопа, значительно превышающее число изобар. При этом поток мюонов, регистрируемый этими каналами, должен иметь ощутимые отличия в плотности температурных коэффициентов. Высотный профиль температуры атмосферы в настоящее время задается температурами на изобарах, число которых составляет от 12 до 17. Высотный профиль температуры атмосферы будем задавать параметрически, так как число искомых параметров меньше числа искомых температур на изобарах.

Нахождение высотного профиля температуры атмосферы с помощью космических лучей сводится к решению системы интегральных уравнений вида

$$\frac{\Delta I}{I}(T, n) = \alpha_{cm}(n) \cdot \Delta T_{cm} = \int_0^h w(n, h) \Delta T(h) dh \quad (2)$$

$$\text{или} \quad \frac{\Delta I}{I}(T, n) = \int_0^h w(n, h) T(h) dh - \int_0^h w(n, h) \bar{T}(h) dh, \quad \text{поскольку} \quad \Delta T(h) = T(h) - \bar{T}(h)$$

Здесь $\frac{\Delta I}{I}(T, n)$ - температурная составляющая вариаций интенсивности мюонов космических лучей,

регистрируемых каналом n телескопа, $w(n, h)$ - распределение плотности температурных коэффициентов

для канала n , а $\int_0^h w(n, h) \bar{T}(h) dh = G(n)$ - постоянная для каждого из каналов величина. Функции $w_n(h)$,

найденные нами ранее [4], и $T(h)$ заданы таблично для определенных значений h . Если воспользуемся линейной интерполяцией между узлами интерполирования h , то интеграл в выражении (1) для каждого из каналов n можем представить суммой из m интегралов

(m - число интервалов, в которых h меняется от $h_0(m)$ до $h(m)$):
$$\sum_m \int_{h_0(m)}^{h(m)} w_n(m, h) T(m, h) dh \quad (3),$$

где
$$w(n, h) = a_m(n) + b_m(n) \cdot h \quad (4)$$

$$T(m, h) = c_m + d_m \cdot h \quad (5)$$

Система интегральных уравнений (2) преобразуется в систему линейных уравнений. Для каждого из каналов

запишем
$$\sum_m \int_{h_{0m}}^{h_m} [a_m + b_m h][c_m + d_m h] dh$$

или
$$\sum_m \{c_m [a_m (h_m - h_{0m}) + \frac{1}{2} b_m (h_m^2 - h_{0m}^2)] + d_m [\frac{1}{2} a_m (h_m^2 - h_{0m}^2) + \frac{1}{3} b_m (h_m^3 - h_{0m}^3)]\}$$

Введем обозначения

$$[a_m (h_m - h_{0m}) + \frac{1}{2} b_m (h_m^2 - h_{0m}^2)] = A_m \quad (6)$$

$$[\frac{1}{2} a_m (h_m^2 - h_{0m}^2) + \frac{1}{3} b_m (h_m^3 - h_{0m}^3)] = B_m \quad (7)$$

Тогда

$$\sum_m (c_m A_m + d_m B_m) = c_1 \sum_{m=1}^m A_m + d_1 [B_1 + h_1 \sum_{m=2}^m A_m] + d_2 [B_2 + h_2 \sum_{m=3}^m A_m] + \dots + d_{m-1} [B_{m-1} + h_{m-1} \sum_{m-1}^m A_m] + d_m B_m \quad (8),$$

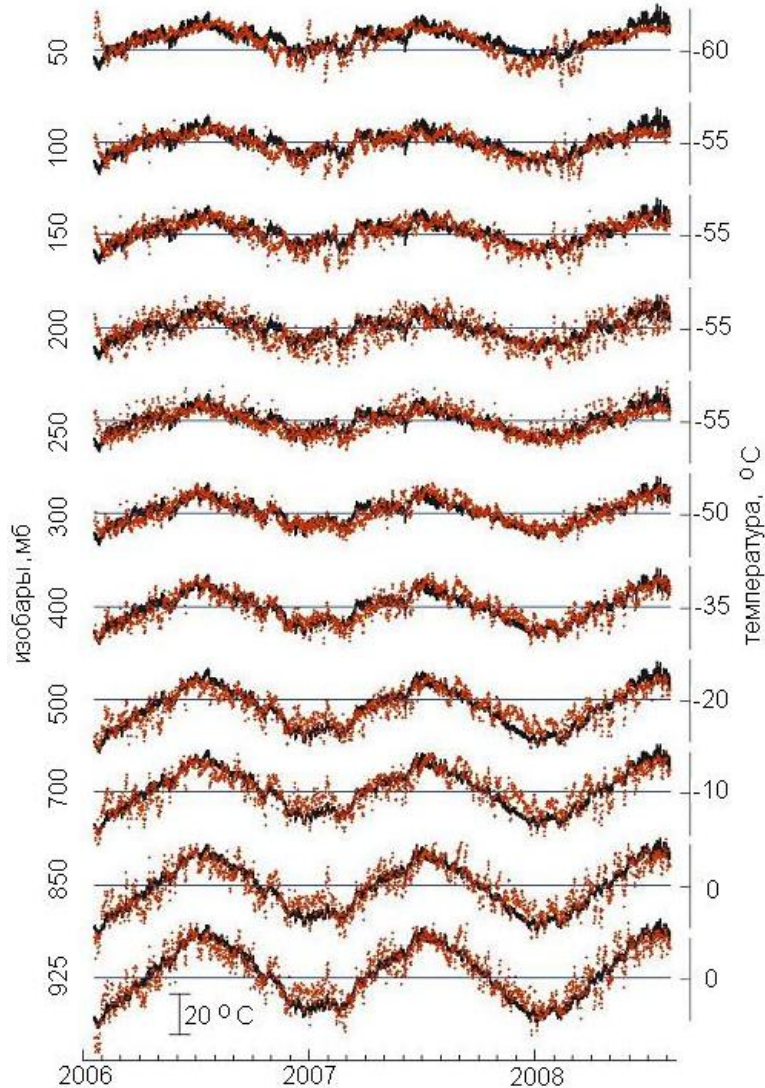
так как $c_2 = c_1 + d_1 h_1$, $c_m = c_{m-1} + d_{m-1} h_{m-1}$

Выражение для температурной вариации для некоторого канала n примет вид

$$\Delta I_T(n) + G(n) = c_1 \sum_{m=1}^m A_m + d_1 [B_1 + h_1 \sum_{m=2}^m A_m] + \dots + d_{m-1} [B_{m-1} + h_{m-1} \sum_{m-1}^m A_m] + d_m B_m \quad (9)$$

Для определения константы $G(n)$ используем это же выражение (5), в котором искомые параметры c_1 и d_1, \dots, d_m заменяем значениями, найденными для среднегодового высотного распределения температуры атмосферы.

Параметры $c_0(m)$ и $d_0(m)$ характеризуют средний (среднегодовой) высотный профиль температуры атмосферы. В анализе были использованы данные непрерывных (часовых) измерений интенсивности космических лучей многоканальным комплексом КЛ в Новосибирске за период 2006 -2008 гг. Результаты, полученные из решения системы уравнений (9), представлены ниже.



Вариации температуры на различных изобарических уровнях атмосферы по данным космических лучей (черная кривая).

Слева на рисунке указаны изобары, справа – температура на изобарах. Данные аэрологического зондирования для сопоставления представлены красными точками. Периодичность зондирования 2 раза в сутки.

Таким образом непрерывные наблюдения за вариациями космических лучей, проводимые на станциях КЛ, оснащенных мюонными телескопами, позволяют получать информацию и о вариациях температуры атмосферы в реальном времени.

Работа выполнена при финансовой поддержке Президиума РАН: проект 10.3 «Космические лучи в гелиосферных процессах по наземным и стратосферным наблюдениям» в рамках программы № 10 «Фундаментальные свойства материи и астрофизика».

Список литературы:

1. Янчуковский В.Л. Многоканальный наблюдательный комплекс космических лучей. // Солнечно-земная физика. Новосибирск: Наука, 2010. Вып. 16. С. 107 – 109.
2. Дорман Л.И. Экспериментальные и теоретические основы астрофизики космических лучей. Москва: Наука, 1975. 462 с.
3. V. L. Yanchukovsky, V. S. Kuz'menko and E. N. Antsyz. Results of Cosmic Ray Monitoring with a Multichannel Complex // Geomagnetism and Aeronomy. 2011. V. 51. № 7. P. 893–896.
4. В.Л. Янчуковский, В.С. Кузьменко Температурные коэффициенты интенсивности мюонов в атмосфере. // Известия РАН. Серия физическая. 2013. Т. 77. № 5. С. 634 – 636.