

# Диагностика температурного режима атмосферы с помощью космических лучей

## Аннотация

Сложность получения непрерывного ряда точных, частых и надежных данных о метеорологических параметрах затрудняет использование данных наземной регистрации мюонной компоненты космических лучей (КЛ). В работе предлагается определять температурный режим атмосферы непосредственно из решения системы уравнений вариаций КЛ. Показана возможность, с одной стороны, учета температурного эффекта мюонной компоненты без привлечения аэрологических данных, а с другой, диагностики температурного режима атмосферы по данным непрерывных наблюдений КЛ.

## Введение

Теория метеорологических эффектов космических лучей КЛ [1] и метод коэффициентов связи [2] позволили по результатам наземных наблюдений получать информацию о вариациях КЛ за пределами земной атмосферы, освобождаясь от вариаций атмосферного происхождения путем введения соответствующих поправок, рассчитываемых исходя из метеорологических данных (атмосферного давления, температуры приземного слоя и температурного разреза атмосферы). Однако возникли и серьезные трудности, связанные не с трудностями теории, а с невозможностью получения непрерывного ряда достаточно точных, частых и надежных данных о метеорологических параметрах. Последнее особенно затрудняет использование данных наземной регистрации мюонной компоненты КЛ. Ниже делается попытка, с одной стороны, учета температурного эффекта мюонной компоненты КЛ без привлечения аэрологических данных температурного разреза атмосферы, а с другой, диагностики температурного режима атмосферы по данным непрерывных наблюдений КЛ.

## 1 Метод

Используются данные синхронных наблюдений нуклонной компоненты в различных энергетических интервалах и мюонной компоненты под различными углами к зениту в одном пункте (с помощью одной установки [3]). В отличие от мюонной компоненты нуклонная компонента, как известно, обладает значительным (но легко учитываемым) барометрическим эффектом, температурный же эффект у нее практически отсутствует. Для случая, когда в исходных данных учтены вариации атмосферного давления и приземной (на уровне наблюдения) температуры, вариации интенсивности, регистрируемой каналом  $K$  установки в пункте  $C$  на уровне  $h_0$  атмосферы, будут связаны с первичным спектром КЛ  $D(R)$ , жесткостью геомагнитного обрезания  $R_c$  и температурой атмосферы  $T$  следующим образом

$$\frac{\Delta I_k}{I_{k_c}}(h_0, t) = \int_{R_c}^{\infty} \frac{\Delta D}{D}(R, t) W_k(R, h_0) dR - \Delta R_c(t) W_k(\bar{R}_c, h_0) + \int_0^h w_k(T_0, h_0, h) \Delta T(h, t) dh \quad (1)$$

Здесь  $w_k(T_0, h_0, h)$  - функция плотности температурных коэффициентов [1], характеризующая роль отдельных слоев атмосферы в создании температурного эффекта интенсивности, регистрируемой каналом  $K$  установки на уровне  $h_0$ ;  $\Delta T(h, t)$  - временные вариации температуры атмосферы в зависимости от высоты;  $W_k(R, h_0)$  - функция энергетической чувствительности канала  $K$  или коэффициент связи согласно определению [4]. Согласно [1] вариации интенсивности за счет изменений температуры атмосферы могут быть представлены как

$$\frac{\Delta I}{I}(T) = \int_0^h w_k(T_0, h_0, h) \Delta T(h) dh = \sum_{i=1}^n \alpha_i(k) \cdot \Delta T_i \quad (2)$$

где  $\alpha_i(k)$  - доля температурного коэффициента, определяемая интегрированием  $w_k(T_0, h_0, h)$  по слою  $i$  атмосферы для канала  $k$  комплекса;  $\Delta T_i$  - изменения температуры на уровне  $i$  атмосферы относительно среднего (опорного) значения. Было показано [5] также, что интеграл в выражении (1) допускает применение теоремы о среднем, тогда

$$\frac{\Delta I}{I}(T) = \overline{w_k(T_0, h_0, h)} \int_0^h \Delta T(h) dh \approx \alpha_k \cdot \Delta T_c \quad (3)$$

где  $\alpha_k$  - некоторая постоянная для канала  $k$  величина [6], а

$$\Delta T_c = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta T_i \Delta h_i}{\sum_{i=1}^n \Delta h_i}$$

(4)

есть величина, характеризующая изменение среднемассовой температуры атмосферы (средневзвешенной по массе). Вариации интенсивности первичного потока КЛ в выражении (1) представим в виде степенного ряда

$$\frac{\Delta D}{D}(R, t) = B_1(t) \cdot R^{-1} + B_2(t) \cdot R^{-2} + B_3(t) \cdot R^{-3} \dots \quad (5) \text{ Это}$$

позволяет перейти от системы уравнений (1) к системе линейных уравнений вида

$$l_k(t) = A_{1k} B_1(t) + A_{2k} B_2(t) + A_{3k} B_3(t) - V_k \Delta R_c(t) + \alpha_k T(t), \quad (6)$$

где

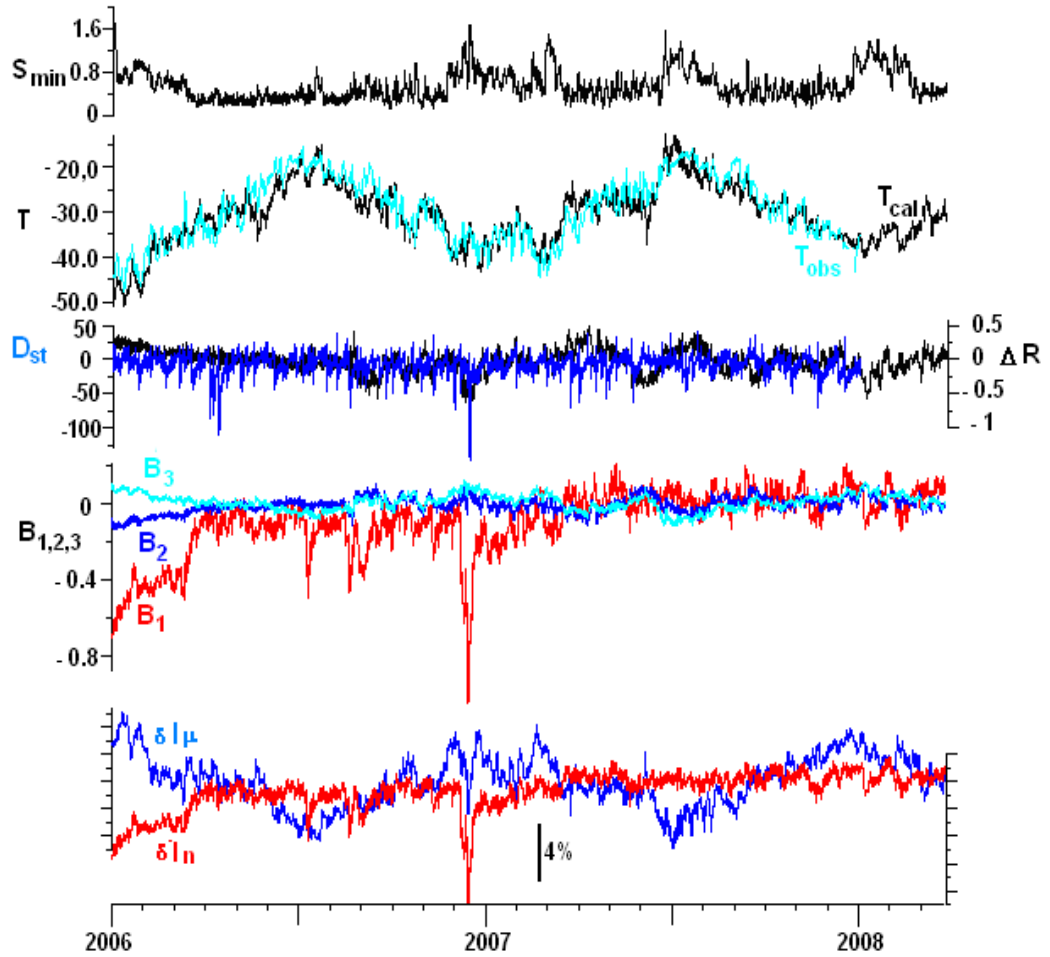
$$\frac{\Delta I_k}{I_k c}(h_0, t) = l_k(t); \quad A_{1k} = \int_{R_c}^{\infty} R^{-1} W_k(R, h_0) dR; \quad A_{2k} = \int_{R_c}^{\infty} R^{-2} W_k(R, h_0) dR;$$

$$A_{3k} = \int_{R_c}^{\infty} R^{-3} W_k(R, h_0) dR; \quad W_k(R_c, h_0) = V_k; \quad \Delta T_c(t) = T(t);$$

Неизвестные  $B_{1,2,3}(t), \Delta R_c(t), T(t)$  находятся из условия  $\sum_k \|l_k^{\text{экс}} - l_k\|^2 = \min$ , где  $l_k^{\text{экс}}$  и  $l_k$  соответственно наблюдаемые и вычисленные значения. Так как  $S = \sum_k \|l_k^{\text{экс}} - l_k\|^2 = f(B_{1,2,3}, \Delta R_c, T)$ , то, приравнявая частные производные (от  $S$  по искомым параметрам) нулю, получим систему нормальных уравнений, решение которой дают окончательные значения искоемых параметров.

## 2 Результаты

Поскольку измерения в каналах наблюдательного комплекса неравноточные, то для приведения системы уравнений (1) к системе равновесных уравнений шаг и кратность сглаживания выбирались на основании распределения статистических весов каналов измерений. Таким образом температурный эффект мюонной компоненты КЛ и вариации интенсивности мюонов для различных зенитных углов регистрации, исправленные на температурный эффект, находятся без привлечения аэрологических данных. Найденные из решения системы уравнений (6) изменения среднемассовой температуры, жесткости геомагнитного обрезания и параметры жесткостного спектра вариаций интенсивности первичного потока КЛ за период с января 2006 года по март 2008 года показаны на рис.1.



**Рис. 1.** Вариации интенсивности мюонной  $\delta I_\mu$  и нуклонной  $\delta I_n$  компонент КЛ, параметров жесткостного спектра первичных вариаций  $B_{1,2,3}$ , жесткости геомагнитного обрезания  $\Delta R$ , среднemasсовой температуры атмосферы  $T$  за рассматриваемый период.

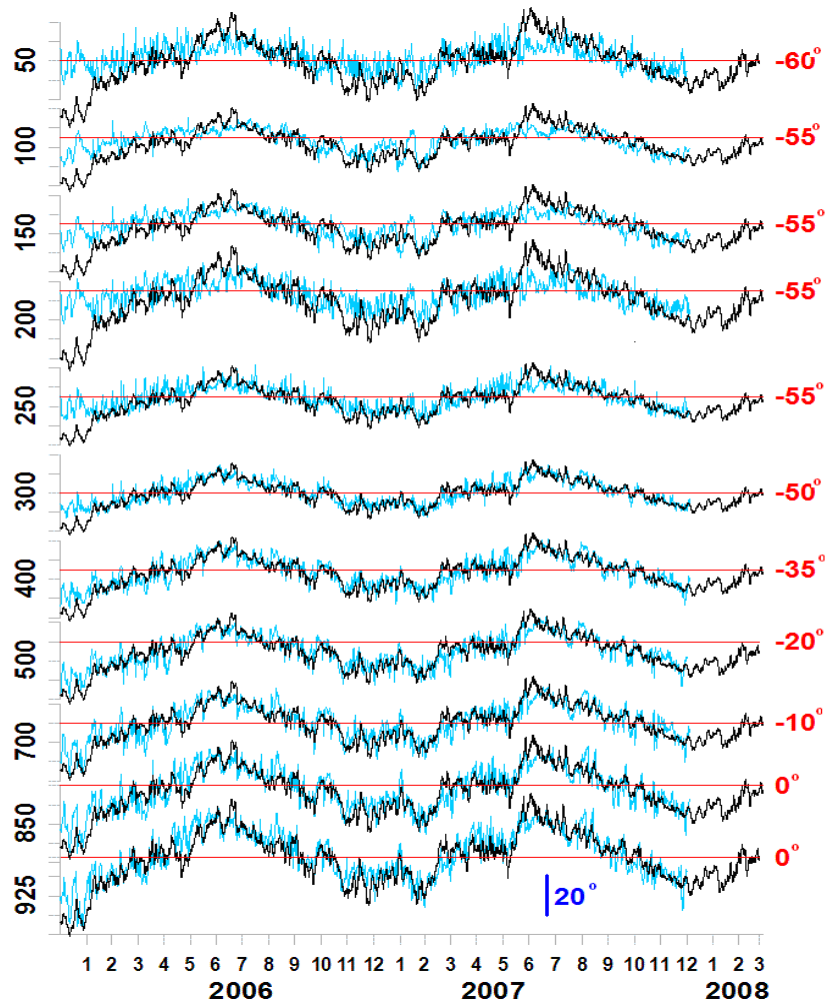
Исходя из выделенной температурной составляющей вариаций интенсивности мюонов под различными углами к зениту и используя полученные ранее [6] распределения плотности температурных коэффициентов, проводится оценка изменений температуры различных слоев атмосферы за указанный период (когда число слоев не превышает число каналов регистрации мюонов)

$$\delta I_T(h_0, \theta, t) = \alpha_T(\theta) \Delta T_{cm}(t) = \sum_{i=1}^N k_i(\theta) \Delta T_i(t) \quad (7)$$

Здесь  $k_i(\theta) = w_T(h, \theta) \cdot \Delta h_i$ , а  $w_T(h, \theta)$  - функция плотности температурного коэффициента. Изменения температуры  $\Delta T_i(t)$  также находились как

$$\Delta T_i(t) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \delta I_{T,k}(\theta, t) / R_k(\theta), \quad (8)$$

где  $\delta I_{T,k}(\theta)$  - температурная составляющая вариации интенсивности мюонов под различными углами к зениту,  $R_k(\theta)$  - коэффициенты регрессии для пар значений  $\delta I_{T,k}(\theta)$  и  $\Delta T_i$  слоя  $i$  атмосферы,  $n$  - число каналов регистрации мюонов под зенитными углами  $\theta$ . Полученные результаты представлены на рис.2.



**Рис. 2.** Вариации температуры (вычисленной  $T_{cal}$  и наблюдаемой  $T_{obs}$ ) атмосферы на изобарах от 925мб до 50мб.

## Заключение

Таким образом, многоканальная синхронная регистрация нуклонной и мюонной компонент КЛ позволяет, с одной стороны, учитывать вариации КЛ атмосферного происхождения без привлечения метеорологических данных, а с другой проводить оценку атмосферных параметров в реальном времени.

Авторы благодарят Президиум СО РАН за поддержку (работа выполнена в рамках интеграционного проекта 3.10).

## Список литературы

- [1] Л.И.Дорман. Метеорологические эффекты космических лучей. НАУКА, Москва, 1972, 211 стр.
- [2] Дорман Л.И. Экспериментальные и теоретические основы астрофизики космических лучей. НАУКА, Москва, 1975, 462 стр.
- [3] В.Л.Янчуковский. Регистрация направленной интенсивности космических лучей. Препринт № 20. ИГиГ СО АН СССР, Новосибирск, 1986, 24 стр.
- [4] Дорман Л.И. Вариации космических лучей. Гостехиздат, Москва, 1957, 285 стр.
- [5] Ю.Я.Крестьянников. Определение температурных вариаций интенсивности  $\mu$  - мезонов по изменению среднемассовой температуры. Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца. НАУКА, Москва, 1975, Вып. 37, стр. 119 – 123.
- [6] В.Л.Янчуковский, Г.Я.Филимонов, Р.З.Хисамов. Атмосферные вариации интенсивности мюонов для различных зенитных углов регистрации. Известия РАН. Серия физическая, 2007, том 71, №7, стр. 1066 – 1068.