

УДК 524.1-352

КОРРЕКТИРОВКА ДАННЫХ МИРОВОЙ СЕТИ СТАНЦИЙ НЕЙТРОННЫХ МОНИТОРОВ

© 2008 г. В. М. Дворников, В. Е. Сдобнов

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск

e-mail: dvornikov@iszf.irk.ru; sdobnov@iszf.irk.ru

Поступила в редакцию 04.06.2007 г.

После доработки 13.09.2007 г.

Предложен метод корректировки данных отдельных нейтронных мониторов мировой сети станций космических лучей, характеризующихся наличием аппаратного дрейфа и спорадическими аппаратными вариациями. Корректировка осуществляется с использованием метода спектрографической глобальной съемки. Предлагаемый метод позволяет производить корректировку непосредственно в процессе обработки данных мировой сети станций и может быть применен как при изучении долговременных вариаций интенсивности космических лучей, так и при работе в режиме реального времени.

PACS: 95.55.Vj

1. ВВЕДЕНИЕ

Наземный мониторинг временных вариаций интенсивности космических лучей (КЛ) нейтронными мониторами на мировой сети станций проводится с середины прошлого века по настоящее время. За этот период накоплен уникальный материал, позволяющий исследовать как долговременные вариации интенсивности КЛ, так и многочисленные спорадические явления. В последние годы, с появлением Интернета, возможности использования данных наземных наблюдений на мировой сети станций существенно расширились. Сеть Интернет позволяет, наряду с данными локальных детекторов, оперативно собирать и обрабатывать данные станций КЛ, распределенных по всему земному шару. В настоящий момент в режиме реального времени функционируют около 20 нейтронных мониторов. Можно надеяться, что в дальнейшем при увеличении количества станций, работающих в данном режиме, появится возможность оперативного мониторинга вариаций жесткого спектра и анизотропии релятивистских КЛ, а также изменений планетарной системы жесткостей геомагнитного обрезания за каждый час наблюдений. Таким образом, можно будет использовать наземные наблюдения КЛ не только в научных исследованиях, но и для решения практических задач по мониторингу и прогнозу космической погоды, что предъявляет определенные требования к качеству данных этих наблюдений.

Мировая сеть станций КЛ оснащена стандартными нейтронными мониторами. Но из-за того, что данные установки не калиброваны, находятся на различных уровнях в атмосфере Земли и в раз-

личных помещениях с разной толщиной перекрытий, в различных климатических условиях и т.д., обычно используются не абсолютные интенсивности КЛ, зарегистрированные на станциях, а данные их относительных изменений. Как правило, для анализа используются вариации интенсивности КЛ, рассчитанные относительно некоторого выбранного (базового) уровня. Однако это не устраняет всех причин, по которым данные не могут быть использованы в полном объеме, из-за наличия аппаратных вариаций (дрейфов), обусловленных изменением свойств датчиков и нестабильностью работы элементов электронного тракта. Кроме того, имеется еще ряд дестабилизирующих факторов, являющихся источником ложных вариаций интенсивности КЛ. К таким факторам, например, можно отнести использование постоянного барометрического коэффициента при корректировке данных на барометрический эффект, хотя он зависит от вариаций энергетического спектра первичных КЛ [Дорман, 1972; Дворников и Сдобнов, 1999], наличия снега на крышах зданий станций и т.д.

Вопросы качества данных станций КЛ обсуждались в работах [Белов и др., 1988; Белов и др., 1993; Белов и др., 2007]. В частности, в работе [Белов и др., 2007] оценивается долговременная стабильность работы нейтронных мониторов мировой сети станций КЛ с использованием двух независимых методов — модельного метода (на базе варианта метода глобальной съемки, адаптированного для изучения долговременных вариаций) и метода отношений. Приводятся их достоинства и недостатки, обсуждаются трудности корректировки данных, связанные с аппаратными дрейфами.

В предлагаемой работе излагается метод корректировки данных наземных наблюдений КЛ на мировой сети станций с использованием метода спектрографической глобальной схемки (СГС) [Dvornikov et al., 1983; Dvornikov and Sdobnov, 1997]. Метод позволяет производить корректировку данных непосредственно в процессе их обработки и может быть применен как при изучении долговременных вариаций интенсивности КЛ, так и при работе в режиме реального времени.

2. МЕТОДИКА И ДАННЫЕ

Эффективность модельного подхода при решении задач корректировки данных в значительной степени определяется адекватностью модели, используемой при его разработке. При разработке метода СГС использовались различные предположения о виде функции распределения КЛ в межпланетном пространстве с целью выбора выражения, наилучшим образом удовлетворяющего наблюдаемым распределениям интенсивности вторичных КЛ по земному шару даже в периоды экстремальных событий. В качестве еще одного критерия адекватности модели использовался сравнительный анализ информации об электромагнитных условиях в межпланетном и околоземном пространствах, получаемой по эффектам в КЛ (в рамках данной модели), с фактически наблюдаемыми условиями.

В результате проведенных исследований в основу метода СГС заложено предположение о том, что вариации интенсивности КЛ за пределами магнитосферы описываются следующим образом:

$$\frac{\delta J}{J}(R, \Psi, \lambda) = \sum_{k=1}^3 a_{0k} R^{-k} + \sum_{n=1}^2 \sum_{k=1}^2 [(c_{nk} R^{-k}) P_n(\mu)] + \sum_{k=1}^2 (d_{1k} R^{-k}) P_1(v), \quad (1)$$

где $P_n(\mu)$, $P_n(v)$ — полиномы Лежандра.

$$\mu = \cos \Theta = \sin \lambda \sin \lambda_0 + \cos \lambda \cos \lambda_0 \cos(\psi - \psi_0), \quad (2)$$

где Θ — угол между вектором скорости частицы $\mathbf{V}$ и вектором межпланетного магнитного поля $\mathbf{B}$ (ММП) (питч-угол); углы ψ_0 и λ_0 характеризуют ориентацию вектора ММП в геоцентрической эклиптической системе координат, а углы ψ и λ определяют направление движения частицы за пределами магнитосферы.

$$v = \cos \Phi = \sin \lambda \sin \xi_0 + \cos \lambda \cos \xi_0 \cos(\psi - \Phi_0), \quad (3)$$

где Φ — угол между $\mathbf{V}$ и $\mathbf{B} \times \nabla n_{\perp}$; $\nabla n_{\perp}$ — перпендикулярная вектору ММП составляющая градиента плотности КЛ, а углы ξ_0 и Φ_0 характеризуют ори-

ентацию вектора $\nabla n_{\perp}$; из условия ортогональности векторов $\mathbf{V}$ и $\mathbf{B} \times \nabla n_{\perp}$, угол ξ_0 определяется выражением

$$\xi_0 = \arctg [-(\cos \psi_0 \cos \Phi_0 + \sin \psi_0 \sin \Phi_0) \cos \lambda_0]. \quad (4)$$

Жесткостные спектры изотропной составляющей и анизотропии аппроксимировались рядами по обратным степеням жесткости частиц. При этих предположениях распределение величин вариаций интенсивности вторичных КЛ по земному шару описывается следующей системой нелинейных алгебраических уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{\delta I_c^i}{I_c^i}(h_l) = & -\Delta R_c W^i(R_c, h_l) \left(1 + \frac{\delta J}{J}(R_c)\right) + \\ & + \int_{R_c}^{\infty} \left\{ \sum_{k=1}^3 a_{0k} R^{-k} + \sum_{n=1}^2 \sum_{k=1}^2 [(c_{nk} R^{-k}) P_n(\mu)] + \right. \\ & \left. + \sum_{k=1}^2 (d_{1k} R^{-k}) P_1(v) \right\} dR. \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь $\frac{\delta I_c^i}{I_c^i}(h_l)$ — величины вариаций интегрально-го потока вторичных частиц типа i (относительно некоторого фонового уровня I_c^i), наблюдаемых в географическом пункте c на уровне h_l в атмосфере Земли; R_c — эффективная жесткость геомагнитного обрезания; $W_c^i(R, h_l)$ — функция связи между первичными и вторичными вариациями КЛ. В уравнениях (2)–(4) вместо переменных ψ , λ должны быть использованы асимптотические углы прихода частиц в данный пункт $\psi_c(R)$, $\lambda_c(R)$. Зависимость ΔR_c от пороговой жесткости аппроксимируется выражением $\Delta R_c(R_c) = (b_1 R_c + b_2 R_c^2) e^{-\sqrt{R_c}}$. Задача сводится к отысканию неизвестных параметров a_{01} , a_{02} , a_{03} , b_1 , b_2 , c_{11} , c_{12} , c_{21} , c_{22} , d_{11} , d_{12} , ψ_0 , λ_0 , ξ_0 , Φ_0 , при которых выражение (5) наилучшим образом описывает распределение вариаций интенсивности вторичных КЛ по земному шару в любой анализируемый момент времени.

На первом этапе решения системы (5) каждому уравнению присваивается вес, равный единице. После решения системы уравнений (5) для текущего часа рассчитывается среднеквадратичное отклонение σ по всей выборке данных. Затем анализируются невязки для каждой станции в рассматриваемый момент времени, и если модуль невязки какой-либо станции превышает 2σ , этой станции присваивается вес, равный нулю (т.е. данные этой станции выбрасываются из расчетов), и система уравнений решается заново. Эта процедура повторяется до тех пор, пока не оста-

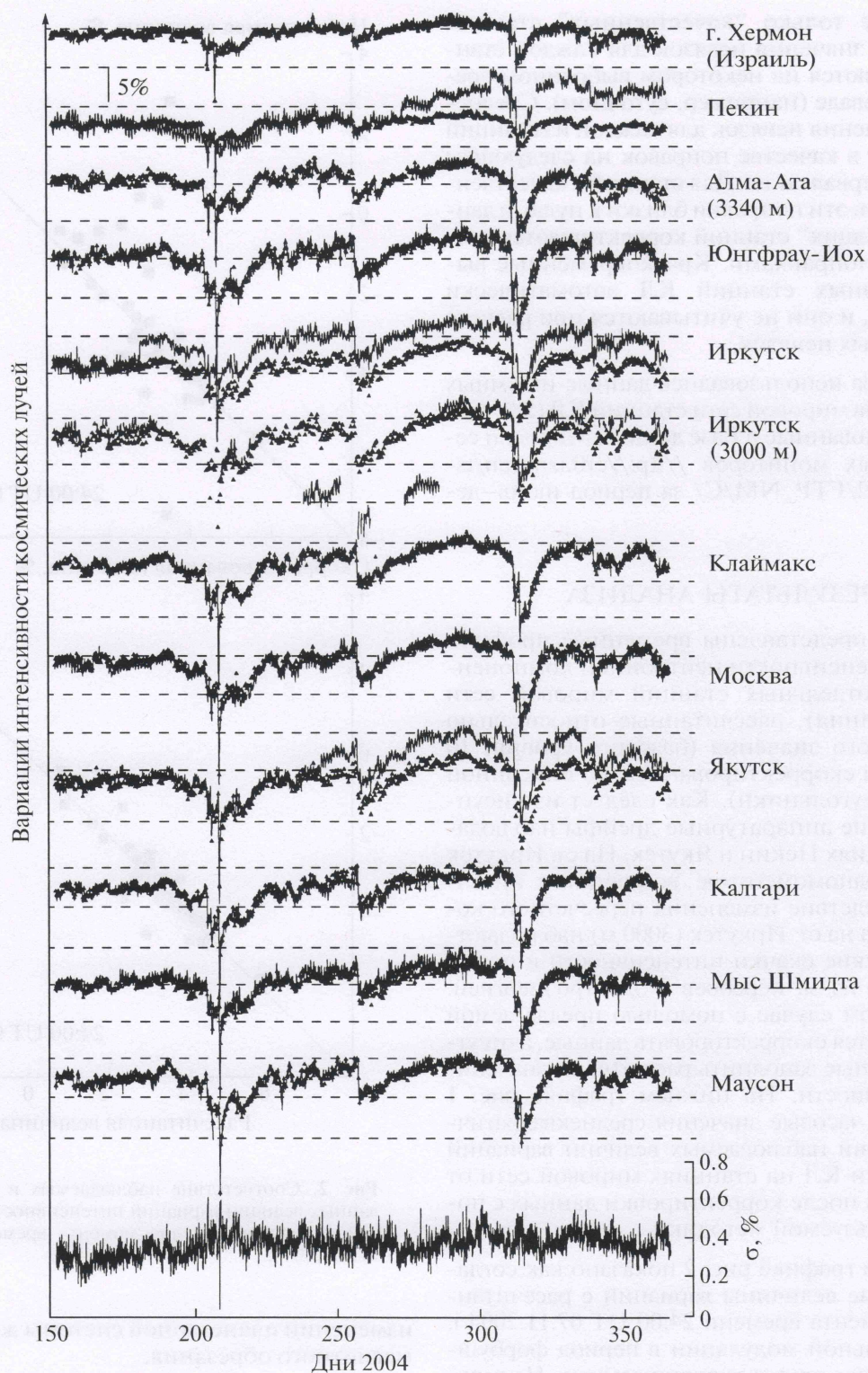


Рис. 1. Временные профили вариаций интенсивности нейтронной компоненты КЛ для отдельных станций мировой сети (сплошная линия), рассчитанные относительно среднесуточного значения (базового уровня) 10 июня 2004 г. и скорректированные по описанной методике (треугольники). Нижний график — среднеквадратичные отклонения (σ) при расчетах с скорректированными данными.

нуты данные только “качественных” станций КЛ. Часовые значения невязок для каждой станции запоминаются на некотором выбранном временном интервале (например, суточном). Среднесуточные значения невязок для каждой из станций используются в качестве поправок на следующем суточном интервале и т.д. Для станций с качественными данными эти поправки близки к нулю, а данные “дрейфующих” станций корректируются рассчитанными поправками. Кратковременные выбросы в данных станций КЛ автоматически исключаются, и они не учитываются при расчете среднесуточных невязок.

Для анализа использовались данные наземных наблюдений на мировой сети станций КЛ (38 станций), опубликованные в Базе данных Мировой сети нейтронных мониторов ftp://cr0.izmiran/rs-si/ru/COSRAY/FTP_NM/C/ за период июнь–декабрь 2004 г.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА

На рис. 1 представлены временные профили вариаций интенсивности нейтронной компоненты КЛ для отдельных станций мировой сети (сплошная линия), рассчитанные относительно среднесуточного значения (базового уровня) 10 июня 2004 г. и скорректированные по описанной методике (треугольники). Как следует из рисунка, наибольшие аппаратные дрейфы наблюдаются на станциях Пекин и Якутск. На ст. Иркутск произошло одномоментное возрастание интенсивности вследствие изменения пересчетного коэффициента, а на ст. Иркутск (3000 м) наблюдаются спорадические скачки интенсивности и отсутствие данных из-за перебоев с электроэнергией. Но даже в этом случае с помощью предлагаемой методики удастся скорректировать данные, а отсутствующие данные заполнить расчетными значениями интенсивности. На нижнем графике рис. 1 представлены часовые значения среднеквадратичных отклонений наблюдаемых величин вариаций интенсивности КЛ на станциях мировой сети от рассчитанных после корректировки данных с помощью используемой методики.

На нижнем графике рис. 2 показано как согласуются часовые величины вариаций с рассчитанными для момента времени 24:00 UT 07.11.2004 г. при максимальной модуляции в период форбуш-эффекта в случае корректировки данных. На верхнем графике показано то же самое, но без корректировки данных. Из этого графика следует, что на временном интервале в пять месяцев на шести станциях из 38 имела нестабильность регистрации интенсивности частиц, что без коррекции данных значительно бы отразилось на точности определения параметров жесткого спектра и анизотропии первичных КЛ, а также на величине

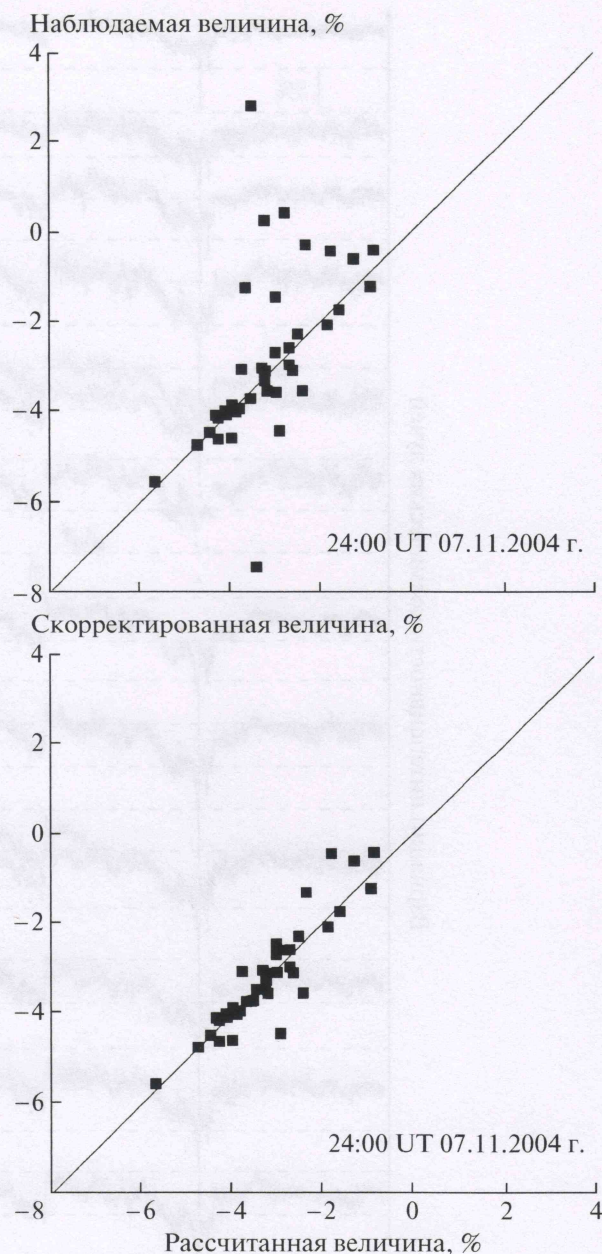


Рис. 2. Соответствие наблюдаемых и скорректированных величин вариаций интенсивности КЛ рассчитанным величинам для момента времени 24:00 UT 07.11.2004 г.

изменений планетарной системы жесткостей геомагнитного обреза.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный метод позволяет формализовать корректировку данных отдельных станций мировой сети, характеризуемых наличием аппаратного дрейфа и спорадическими аппаратными вариациями. Данным методом можно про-

изводить эту корректировку непосредственно в процессе обработки данных. Использование предложенного метода в совокупности с реализацией системы автоматического сбора информации через Интернет позволит осуществлять контроль качества данных всей мировой сети станций как единого многоканального детектора в режиме реального времени и осуществлять мониторинг и прогноз электромагнитных и радиационных условий в межпланетном и околоземном космическом пространстве по эффектам в КЛ.

Данная работа поддержана комплексным интеграционным проектом СО РАН-2006 № 3.10 и программой Президиума РАН "Нейтронная физика" в рамках проекта "Исследование модуляционных эффектов космических лучей методом наземного и стратосферного мониторинга".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Белов А.В., Гущина Р.Т., Дорман Л.И., Сиротина И.В. Жесткозонный спектр долговременных вариаций космических лучей // Геомагнетизм и аэронаука. Т. 28. № 4. С. 550–559. 1988.
- Белов А.В., Гущина Р.Т., Дорман Л.И., Сиротина И.В. Данные многолетней регистрации космических лучей и анализ эффективностей нейтронных мониторов в 1953–1991 гг. Препр. ИЗМИРАН. М.: № 88(1035). 1993.
- Белов А.В., Гущина Р.Т., Ерощенко Е.А., Юдахин К.Ф., Янке В.Г. Оценка долговременной стабильности детекторов мировой сети нейтронных мониторов // Геомагнетизм и аэронаука. Т. 47. № 2. С. 267–271. 2007.
- Дворников В.М., Сдобнов В.Е. Определение мгновенных значений барометрического коэффициента по данным Саянского комплекса нейтронных мониторов // Геомагнетизм и аэронаука. Т. 39. № 4. С. 113–117. 1999.
- Дорман Л.И. Метеорологические эффекты космических лучей. М.: Наука, 211 с. 1972.
- Dvornikov V.M., Sdobnov V.E., Sergeev A.V. Analysis of cosmic ray pitch – angle anisotropy during the June 1972 Forbush effect by method of spectrographic global survey // Proc. 18th ICRC. Bangalore. India. V. 3. P. 249. 1983.
- Dvornikov V.M., Sdobnov V.E. Variations in the rigidity spectrum and anisotropy of cosmic rays at the period of Forbush effect on 12–15 July // Intern. J. of Geomagn. and Aeron. V. 3. № 3. P. 217–223. 2002.
- Dvornikov V.M., Sdobnov V.E. Time variations of the cosmic ray distribution function during a solar event of September 29, 1989 // J. Geophys. Res. V. 102. № A11. P. 24209. 1997.
- База данных Мировой сети нейтронных мониторов // ftp://cr0.izmiran/rssi/ru/COSRAY!/FTP_NM/C/