

PROTON EVENT ON FEBRUARY 23, 1956 BY THE DATA OF NEUTRON MONITORS

A. Belov¹, E. Eroshenko¹, H. Mavromichalaki², V. Yanke¹

(1) ИЗМИРАН, 142190 Троицк, Московская область.

(2) Физический факультет Афинского университета, 15771 Афины, Греция.

Izvestia RAN, ser. phys., **69**, № 6, 804-807, 2005.

ПРОТОННОЕ СОБЫТИЕ 23 ФЕВРАЛЯ 1956 Г. ПО ДАННЫМ НЕЙТРОННЫХ МОНИТОРОВ

А. Белов¹, Е. Ерошенко¹, Е. Мавромичалаки², В. Янке¹

(1) ИЗМИРАН, 142190 Троицк, Московская область.

(2) Физический факультет Афинского университета, 15771 Афины, Греция.

Izvestia RAN, ser. phys., **69**, № 6, 804-807, 2005.

По данным 14 нейтронных мониторов, работавших в 1956 г., создана модель поведения солнечных космических лучей 23 февраля. Работавших в то время, немногочисленных и не отвечающих современным требованиям, нейтронных детекторов оказалось достаточно, чтобы получить основные характеристики наземного протонного возрастания и их временную динамику. Получены и проанализированы изменения характеристик энергетического спектра космических лучей и их анизотропии, дифференциальных и интегральных потоков. Показано, что первые частицы пришли к Земле очень узким пучком, шириной 30-40 градусов.

Введение.

Событие 23 февраля 1956 г. занимает особое место среди всех протонных возрастаний. С тех пор зарегистрированы многие сотни протонных событий и десятки наземных возрастаний (GLE), но все они на порядок и более уступают событию 1956 г. О превосходстве GLE под номером 5 над последующими протонными событиями [1] красноречиво говорит рис. 1. Здесь самые большие изменения скорости счета нейтронных мониторов во время протонных событий 19, 22 и 23 солнечных циклов представлены так, как будто все эти GLE начались в один и тот же час.

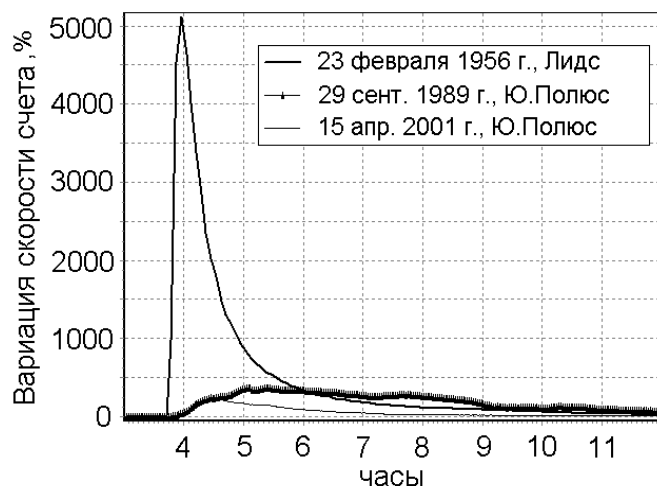


Рис. 1. Изменения скорости счета нейтронных мониторов, зарегистрировавших самые большие наземные возрастания 19, 22 и 23 циклов солнечной активности.

Событие 23 февраля привлекло значительное внимание к наблюдениям Солнца и космических лучей, что способствовало организации и успешному проведению Международного Геофизического Года и созданию сети обсерваторий, в частности, станций космических лучей. В первые годы после этого события ему было посвящено множество статей (например, [2-6]). В более поздние годы это событие часто упоминалось в монографиях и многих научных работах [7-12 и др.].

Однако только Smart and Shea [13] вернулись к его детальному анализу и по данным нейтронных мониторов смогли построить модель поведения высокоэнергичных солнечных КЛ и получить некоторые важные оценки. Несмотря на все упомянутые работы, мы до сих пор знаем о выдающемся событии 1956 г. много меньше, чем о некоторых более поздних событиях. От этого страдают наши общие представления о радиационной опасности солнечных космических лучей, и оценки, используемые в задачах космической погоды.

В данной работе мы возвращаемся к анализу наземных наблюдений КЛ 23 февраля с целью уточнить модель поведения СКЛ. Здесь мы кратко анализируем данные нейтронных мониторов и планируем дать более развернутый их анализ и дополнить его данными других наземных детекторов в следующих работах.

Данные и методы.

В 1956 г., в основном, в университетах использовались экспериментальные нейтронные детекторы для регулярных наблюдений вариаций космических лучей. Эти детекторы были достаточно удачно распределены по земному шару, что позволило не просто зарегистрировать GLE, но и собрать информацию для его детального анализа. Диапазон жесткостей геомагнитного обрезания простирался от 1 ГВ (Оттава) до 13.5 ГВ (Уанкайо). Для многих детекторов данные по возрастанию 23 февраля остались единственными опубликованными данными, за них мы должны быть благодарны Голду и Эллиоту [14], которым удалось оперативно собрать и разослать эти данные по многим научным организациям и Дорману, включившему их в полном объеме в монографию [6]. Только один из этих нейтронных мониторов (ст. Чикаго) давал 2-минутные данные, на остальных регистрация изменений скорости счета проводилась реже. Однако на всех нейтронных мониторах (за исключением ст. Стокгольм) регистрация производилась чаще, чем раз в час. Большинство данных нейтронных мониторов доступны только в графическом виде и трудно надеяться на полноценные числовые данные в будущем. Поэтому мы использовали данные, полученные сканированием аппроксимированных кривых вариаций, в том виде, в каком они опубликованы в книге Дормана [6].

У анализа события в феврале есть свои особенности, обусловленные как самим этим событием, так и его удаленностью по времени. Некоторые из них затрудняют анализ, другие напротив его облегчают. Основными минусами является отсутствие многих видов данных (солнечный ветер, малоэнергичные КЛ и др.) и отсутствие первоисточников имеющихся данных. Главный плюс, который перекрывает почти все минусы, – это величина возрастания. При такой большой величине недостатки наблюдений и обработки скрадываются и почти не мешают получить удовлетворительный результат. Помогает также спокойная геомагнитная ситуация во время события (Кр-индекс от 1 до 2).

Мы использовали следующую модель вариации скорости счета N нейтронного монитора i в пункте с пороговой энергией E_i и атмосферным давлением h :

$$\left. \frac{\Delta N}{N_0} \right|_i(t) = b_0 C_{0i}(E_i, h, \gamma, E_u, t) + b_1 C_{1i}(E_i, h, \gamma, E_u, \lambda, \varphi) \quad (1)$$

$$\text{где } C_{0i} = \int_{E_i}^{E_u} W(E, t_0, h) R^\gamma(t, E) dE \bigg/ \int_{E_i}^{\infty} W(E, t_0, h) dE, \quad (2)$$

$$C_{1i} = \int_{E_i}^{E_u} W(E, t_0, h) R^\gamma(t, E) \exp(-n_a^2 \sin^2(\chi(E) - \chi_0)) dE \bigg/ \int_{E_i}^{\infty} W(E, t_0, h) dE, \quad (3)$$

$W(E, t_0, h)$ - коэффициенты связи, заданные для базового периода t_0 и зависящие от энергии E , R – жесткость частиц. Определяемые параметры $b_0, b_1, \gamma, E_u, n_a$ и χ_0 зависят от времени t . Поскольку вместо параметра χ_0 фактически определяются два параметра (широта λ_0 и долгота ϕ_0 источника анизотропии), то общее максимальное количество определяемых параметров – 7. Их поведение рассчитано методом наименьших квадратов и обсуждается ниже. Были проверены 8 различных вариантов энергетической зависимости и 3 угловых распределения. Выражения (1-3) описывают вариант модели, давший лучшее согласие с наблюдениями. Учитывая малое число детекторов, мы старались, по возможности, упростить модель, уменьшая количество определяемых параметров. В первые 2 пятиминутки мы использовали полностью анизотропную модель, оставляя только второй член в (6), а большую часть времени, на более поздней стадии, изотропную модель с тремя определяемыми параметрами.

Анализ результатов и основные выводы.

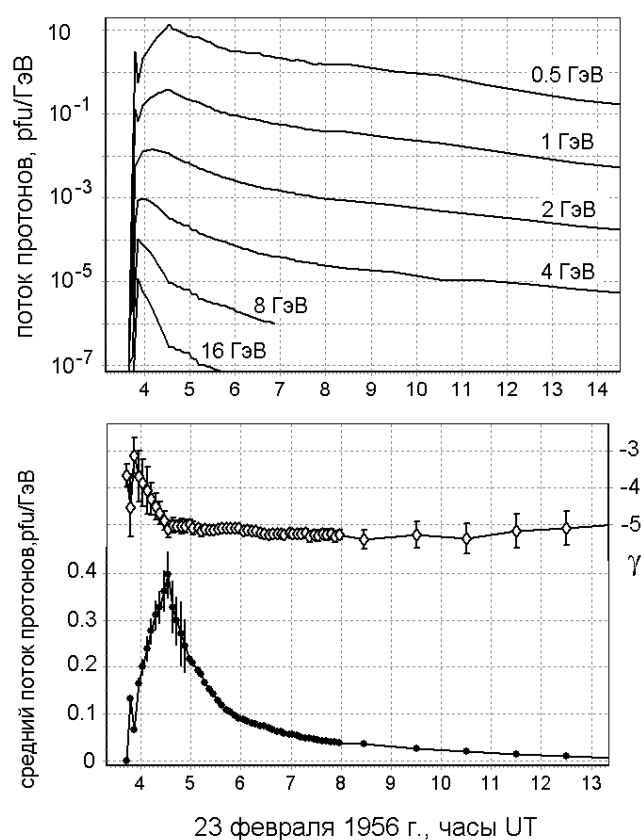


Рис. 2. Поведение показателя степенного спектра и усредненного по всем направлениям потока СКЛ с энергией 1 ГэВ (нижняя панель).

Поведение усредненного по направлениям дифференциального потока СКЛ различных энергий (верхняя панель

распределения.

В начальный период, когда анизотропия была очень велика, максимальный поток протонов с направлений к западу от линии Земля-Солнца превышал максимум среднего

Основные результаты моделирования приведены на рис. 2 и 3. Средний поток КЛ (рис. 2), который можно считать эквивалентом их плотности, быстро рос в начале события и спустя приблизительно 55 минут достиг максимума $4 \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ стер}^{-1} \text{ МэВ}^{-1}$ для энергии 1 ГэВ. В начале события энергетический спектр солнечных КЛ был жестким, в 3:50-3:55 UT показатель $\gamma = -3.1 \pm 0.5$. В следующие 45 минут показатель быстро увеличивался по абсолютной величине и в оставшееся время превышал 5. Подобное поведение показателя достаточно типично для GLE, похожие его изменения мы видели, например, в сентябре 1989 г. [15]. Достаточно типична и энергетическая зависимость запаздывания максимума дифференциального потока протонов, которую хорошо видно на рис. 2.

Рассчитанный вклад анизотропной части (второе слагаемое в (1)) потока солнечных КЛ в полный поток со всех направлений приведен на рис. 3 вместе с параметром n_a , контролирующем ширину углового

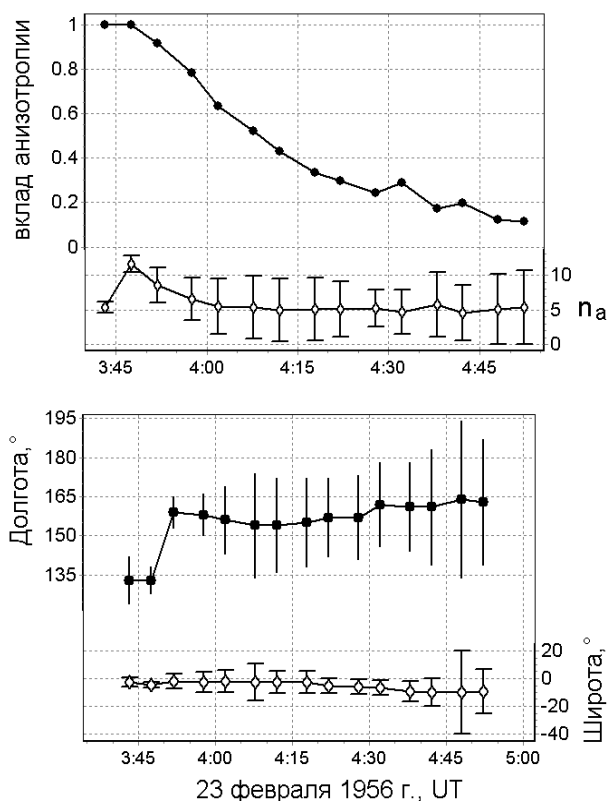


Рис. 3. Поведение вклада анизотропии p_a и коэффициента n_a , характеризующего ширину углового распределения потока СКЛ, географической долготы и широты источника анизотропии.

продлить экстраполяцию) это событие, по-видимому, является не уникальным, а просто одним из самых больших протонных возрастаний. Это согласуется и с данными риометров, эффект на которых во время более недавних событий был сильнее, чем в феврале 1956 г. [12]. Многие черты этого наземного возрастания, по-видимому, объясняются особенностями межпланетного распространения частиц от удаленного западного источника, связанного с солнечной вспышкой балла 3 (начало 3:34 UT, координаты N25W85).

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 04-02-16763, 03-07-90389). Авторы благодарны Л.И. Дорману и Л.И. Мирошниченко за помощь и обсуждение.

Список литературы

1. Smart D.F. and Shea, M.A. // Proc. 22nd Int. Cosmic Ray Conf., Dublin, 1991, V. 3, P. 101.
2. Meyer P., Parker E.N., Simpson J.A. // Phys.Rev., 1956, V. 104, № 3, P. 768.
3. Pfozter G. // Nuovo Cimento Suppl., 1958, V. 8, Series 10, № 2, P. 180.
4. Sarabhai V., Duggal S.P., Razdan H., Sastry F. // Proc. Ind. Acad. Sci., 1956, V. 43, P. 309.
5. Van Allen J.A., Winckler J.R., // Phys. Rev., V. 106, P. 1072, 1957.
6. Дорман Л.И. // Вариации космических лучей, М: Гостехиздат, 1957, 429 с.
7. Sandstroem A.E. // Cosmic Ray Physics, North-Holland company-Amsterdam, 1965, 259 p.

потока (рис. 2) приблизительно в 20 раз. Однако уже в 30° от направления на максимум величина потока убывала на порядок.

Наши результаты согласуются с результатами Smart and Shea [13], дополняя и расширяя их. Наиболее выдающейся особенностью протонного возрастания 23 февраля 1956 г. был узкий и чрезвычайно интенсивный пучок ультрарелятивистских частиц, пришедший к Земле в начале события. Несколько нейтронных мониторов, попавшие под этот пучок, зарегистрировали возрастание в тысячи процентов. Ни в одном из следующих 62 наземных возрастаний не наблюдалось даже сравнимых с этим эффектов. Однако, этот уникальный пучок частиц наблюдался недолго, а его ширина не превышала 30-40°. Поэтому его влияние на плотность солнечных частиц или на их полный флюэнс было не так велико. Оценка интегрального потока частиц с энергией >100 МэВ ставит изучаемое событие выше всех последующих, но при этом оно уже не выпадает из общего распределения. Для частиц >10 МэВ (если мы пробуем

8. *Akasofu S-I., Chapman S.* // Solar-terrestrial physics, Clarendon press, Oxford, 1972.
9. *Мирошниченко Л.И.* // Геомагнетизм и Аэрoномия, 1970, Т. 10, № 5, С. 898.
10. *Miroshnichenko L.I.* // Solar Cosmic Rays, Kluwer Academic publishers, 2001, 492 p.
11. *Heristchi, Dj., Trottet G., Perez-Peraza J.* // J. Solar Phys., 1976, V. 49, P. 151.
12. *Shea M.A., Smart D.F.* // Advances in Space Research, 2002, V. 29, № 3, P. 325.
13. *Smart D.F., Shea M.A.* // Proc. 21st Int. Cosmic Ray Conf., Adelaide, V. 5, 257-260, 1990.
14. *Gold T., Elliot H.* // The solar cosmic ray outburst, 1956, February 23, Royal Greenwich Observatory, 1956.
15. *Baisultanova L.M. et al.* // Proc. of the 1st SOLTIP Symposium, Liblice, 1992, V. 2, P. 73.