

Возмущение Магнитосферы в Январе 1997 г. и Геомагнитные Пороги Космических Лучей

Тясто М.И.¹, О. А Данилова¹, В. Е Сдобнов², А Бочев³.

¹Санкт-Петербургский

²Институт

³Лаборатория солнечно-земных связей БАН

солнечно-земной

филиал

физики

ИЗМИРАН

СОРАН

В работе исследованы временные изменения геомагнитных порогов в период межпланетных и магнитосферных возмущений 9-15 января 1997 г. Для расчетов геомагнитных порогов использованы метод спектрографической глобальной съемки и метод прослеживания траекторий заряженных частиц космических лучей в магнитном поле магнитосферы Цыганенко Ц03 2001-2003 гг. Прослежена связь полученных для разных широт геомагнитных порогов с Dst-вариацией и межпланетными параметрами, являющимися входными параметрами магнитосферной модели Ц03.

Введение

Магнитосфера постоянно испытывает воздействие солнечного ветра и, соответственно, меняется вместе с изменениями его свойств. Жесткости геомагнитного обрезания космических лучей (геомагнитные пороги) являются основным фактором, регулирующим приход частиц космических лучей в данную точку на земной поверхности или внутри магнитосферы [1, 2]. Во время очень сильных возмущений 23 цикла солнечной активности последних лет наблюдается существенное снижение геомагнитных порогов в период главной фазы геомагнитных бурь и неоднозначная связь вариаций геомагнитных порогов с плотностью и скоростью солнечного ветра, что требует дальнейшего исследования [3-6]. Снижение геомагнитных порогов «разрешает» приход в магнитосферу дополнительному потоку заряженных частиц, что может влиять на работу технологических систем на спутниках и негативно отжаться на здоровье космонавтов.

Межпланетные возмущения в период 9-15 января 1997 г. были исследованы в нескольких работах с точки зрения магнитосферных и ионосферных явлений. Этот период характеризуется корональным выбросом массы 10-11 января, увеличением плотности и скорости солнечного ветра (11-13 января) и геомагнитными возмущениями (с $Dst_{min} = -78$ нТ) [например, 7,8]. В данной работе мы исследовали изменения теоретических и экспериментальных геомагнитных порогов в данный возмущенный период 9-15 января 1997 г.

Методы

Теоретические жесткости геомагнитного обрезания ΔR_{ef} были определены методом прослеживания траекторий заряженных частиц в магнитном поле магнитосферы Цыганенко Ц03 от заданной точки до границы магнитосферы [9-13]. Рассчитывались вертикальные эффективные жесткости геомагнитного обрезания на станциях Токио, Алма-Ата, Рим, Иркутск, Москва, Ньюарк для каждого часа бури. Изменения теоретических геомагнитных порогов определялись относительно спокойного уровня, в качестве которого были взяты значения геомагнитных порогов, рассчитанные на момент 15 января 1997 17 UT: Токио-11,18 ГВ; Алма-Ата – 6,24 ГВ; Рим – 6,15 ГВ; Иркутск – 3,33 ГВ; Москва – 2,20 ГВ и Ньюарк – 2,20 ГВ. Метод

спектрографической глобальной съемки (SGS) позволяет определять геомагнитные пороги по данным мировой сети регистрации космических лучей (~40 станций) [14-16].

Результаты и дискуссия

Изменения теоретических ΔR_{ef} и экспериментальных порогов ΔR_{sgs} получены относительно спокойного уровня 15 января 1997 г. На рис 1 приведены результаты расчетов ΔR_{ef} и ΔR_{sgs} 9-15 января 1997 г. для станций Токио -а, Алма-Ата – б, Рим – в, Иркутск – г, Москва – д, Ньюарк – е (сверху вниз). Крестиками обозначены теоретические ΔR_{ef} , кружками – экспериментальные ΔR_{sgs} . Внизу приведен временной ход межпланетных параметров: скорость V_{sw} и плотность N_{sw} солнечного ветра и индексы геомагнитной активности Dst и Kp. Как видно на рис. 1, скорость солнечного ветра V_{sw} превышала 500 км/ч, начиная с 07 UT 11.01 и до 14 UT 13.01. Резкий всплеск плотности солнечного ветра N_{sw} наблюдался 11 января с максимумом в 01-02 UT, Dst-вариация достигла минимума в ~ 78 нТ 10 января в 9 UT. Кривые ΔR_{ef} и в целом схожи и обнаруживают снижение геомагнитных порогов в период главной фазы магнитной бури. Всплеск плотности солнечного ветра можно сопоставить с повышением теоретических и экспериментальных геомагнитных порогов на станциях Ньюарк, Москва, Иркутск в 00-01 UT 11 января, на ст. Рим, Алма-Ата и Токио повышение выражено не столь отчетливо. Межпланетные параметры и Dst-индекс являются входными параметрами модели Ц03.

Таблица 1
Коэффициенты корреляции ΔR_{ef} геомагнитным Dst-индексом и межпланетными параметрами и коэффициент корреляции K между ΔR_{ef} и ΔR_{sgs} в период 9-15 января 1997 г

| Станция | Dst | B_z | B_y | N_{sw} | V_{sw} | Pdyn | K |
|---------|------|-------|-------|----------|----------|------|------|
| Токио | 0,84 | 0,76 | 0,23 | 0,41 | 0,19 | 0,36 | 0,03 |
| А-Ата | 0,83 | 0,75 | 0,24 | 0,41 | 0,11 | 0,40 | 0,24 |
| Рим | 0,88 | 0,61 | 0,40 | 0,30 | 0,15 | 0,28 | 0,28 |
| Иркутск | 0,91 | 0,71 | 0,34 | 0,36 | 0,20 | 0,32 | 0,48 |
| Москва | 0,92 | 0,72 | 0,36 | 0,35 | 0,18 | 0,31 | 0,47 |
| Ньюарк | 0,82 | 0,59 | 0,49 | 0,12 | 0,12 | 0,08 | 0,46 |

В таблице 1 приведены коэффициенты корреляции теоретических ΔR_{ef} с геомагнитным возмущенностью и межпланетными параметрами и коэффициент корреляции K между ΔR_{ef} и экспериментальными порогом ΔR_{sgs} в период 9-15 января 1997 г. Из таблицы

1 видно, что наблюдается хорошая корреляция ΔR_{ef} с Dst-вариацией и несколько ниже, но достаточно хорошая корреляция с B_z компонентом ММП. Коэффициенты корреляции ΔR_{ef} с параметрами B_y , N_{sw} , V_{sw} и P_{dyn}

Таблица 2

Коэффициенты корреляции экспериментальных геомагнитных порогов ΔR_{sgs} с геомагнитной возмущенностью и межпланетными параметрами в период 9-15 января 1997 г.

| Станция | Dst | B_z | B_y | | | Pdyn |
|---------|------|-------|-------|----------|----------|------|
| | | | | N_{sw} | V_{sw} | |
| Токио | 0,00 | 0,09 | 0,12 | 0,26 | 0,01 | 0,30 |
| А-Ата | 0,28 | 0,28 | 0,06 | 0,37 | 0,03 | 0,39 |
| Рим | 0,32 | 0,30 | 0,05 | 0,38 | 0,04 | 0,39 |
| Иркутск | 0,50 | 0,37 | 0,08 | 0,30 | 0,05 | 0,28 |
| Москва | 0,51 | 0,35 | 0,11 | 0,22 | 0,05 | 0,19 |
| Ньюарк | 0,50 | 0,33 | 0,11 | 0,20 | 0,06 | 0,16 |

не превышают 0,50. Форма и размеры магнитопаузы в модели ЦОЗ определяются, в частности, динамическим давлением солнечного ветра P_{dyn} , следовательно, они изменяются при изменении N_{sw} и V_{sw} . Коэффициенты корреляции ΔR_{ef} с P_{dyn} близки к коэффициентам корреляции с N_{sw} и в 2-3 раза ниже, чем корреляция с V_{sw} . На основании этого можно предположить, что более существенную роль в данном случае играет плотность солнечного ветра.

В таблице 2 показана связь экспериментальных порогов ΔR_{sgs} с геомагнитной возмущенностью и межпланетными параметрами. Как видно из таблицы 2, корреляции ΔR_{sgs} с Dst-вариацией самая высокая на станциях Иркутск, Москва, Ньюарк (расположенных на широтах с геомагнитными порогами спокойного времени 3,3 – 2.20 ГВ), но она не превышает 0,51; для более низкоширотных станций Алма-Ата и Рим (6,24 – 6,15 ГВ) коэффициент корреляции падает до ~0,3 и совсем отсутствует корреляция для ст. Токио (11,2 ГВ). Связь ΔR_{sgs} с другими параметрами ухудшается, но связь с плотностью солнечного ветра и B_z (кроме Токио) остается заметной (0.20-0.38). Также как в случае корреляции ΔR_{ef} с P_{dyn} , корреляция ΔR_{sgs} с P_{dyn} и с плотностью N_{sw} одного порядка и гораздо ниже чем корреляция ΔR_{sgs} с V_{sw} .

Несмотря на сходство кривых ΔR_{ef} и ΔR_{sgs} (рис. 1) в период главной фазы бури, коэффициенты корреляции K между ними на всех станциях, кроме Токио, не высоки и лежат в пределах 0,24-0,48. Следует отметить, что на более высоких широтах (Иркутск, Москва, Ньюарк) связь между ними в ~2 раза выше ($K \sim 0,46-0,48$), чем на более низкоширотных станциях Рим и Алма-Ата, на ст. Токио корреляция между кривыми почти отсутствует.

На рис. 2 приведены гистограммы распределения разностей между экспериментальными и теоретическими геомагнитными порогами для выбранных станций. Основная масса разностей лежит в пределах $\pm 0,2$ ГВ. Во время возмущений асимметрия магнитосферы усиливается. Поскольку станции расположены на разных широтах и долготах, то часть разностей между кривыми ΔR_{ef} и ΔR_{sgs} можно отнести к суточным изменениям порогов за счет асимметрии магнитосферы. В изменениях ΔR_{sgs} не учтены их суточные вариации из-за небольшого числа станций космических лучей. Амплитуда суточной

вариации геомагнитных порогов, рассчитанная для минимума Dst-вариации во время сильного возмущения в ноябре 2003 г. ($Dst_{min} = -473$ нТ) составляет 0,3-0,4 ГВ [3,4,17]. Вряд ли асимметрия магнитосферы в период возмущений 9-15 января 1997 г. ($Dst_{min} = -78$ нТ) сильнее, чем в ноябре 2003 г. Поэтому разности между кривыми ΔR_{ef} и ΔR_{sgs} в период данного возмущения можно объяснить неучтенной суточной вариацией ΔR_{sgs} .

На рис 2 видно, что распределение разностей не симметрично относительно нуля, центр тяжести гистограммы постепенно смещается по широте. Если на низкоширотных станциях Токио и Алма-Ата преобладают отрицательные значения, то на более высоких широтах наблюдается смещение к положительным значениям. Это значит, что теоретические ΔR_{ef} на широтах 2-3 ГВ систематически имеют более низкие значения, чем экспериментальные, что особенно заметно на рис 1 в период главной фазы и на фазе восстановления бури. Таким образом, можно заключить, что теоретические пороги ΔR_{ef} более чувствительны к Dst-вариации, чем экспериментальные.

Заключение

На основе анализа рассчитанных в данной работе временных вариаций теоретических и экспериментальных геомагнитных порогов можно сделать следующие выводы.

Также как в период сильных возмущений в ноябре 2003 г и ноябре 2004 г наблюдается снижение геомагнитных порогов ΔR_{ef} и ΔR_{sgs} в период главной фазы магнитной бури 9-15 января 1997 г., причем теоретические геомагнитные пороги более чувствительны к вариациям Dst, чем экспериментальные. Особенностью связи вариаций экспериментальных порогов ΔR_{sgs} с геомагнитным индексом Dst является более сильная, чем для ΔR_{ef} зависимость коэффициентов корреляции от широты: связь сильнее на более высокоширотных станциях. Сравнение полученных результатов с результатами исследования изменений геомагнитных порогов во время сильных магнитных бурь в ноябре 2003 г. ($Dst_{min} = -473$ нТ) и ноябре 2004 г. ($Dst_{min} = -372$ нТ) показывает, что в данном случае ($Dst_{min} = -78$ нТ) также, как в случае указанных сильных бурь самой высокой является корреляция геомагнитных порогов с Dst. Это означает, что основной вклад в изменения геомагнитных порогов вносит кольцевой ток, ответственный за развитие Dst-вариации.

Отражение вариаций плотности и скорости солнечного ветра в вариациях геомагнитных порогов в период возмущений неоднозначно: в период бурь января 1997 и ноября 2003 г. более существенную роль играет плотность солнечного ветра, в период бури ноября 2004 г. более значима роль скорости солнечного ветра.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 07-02-00920

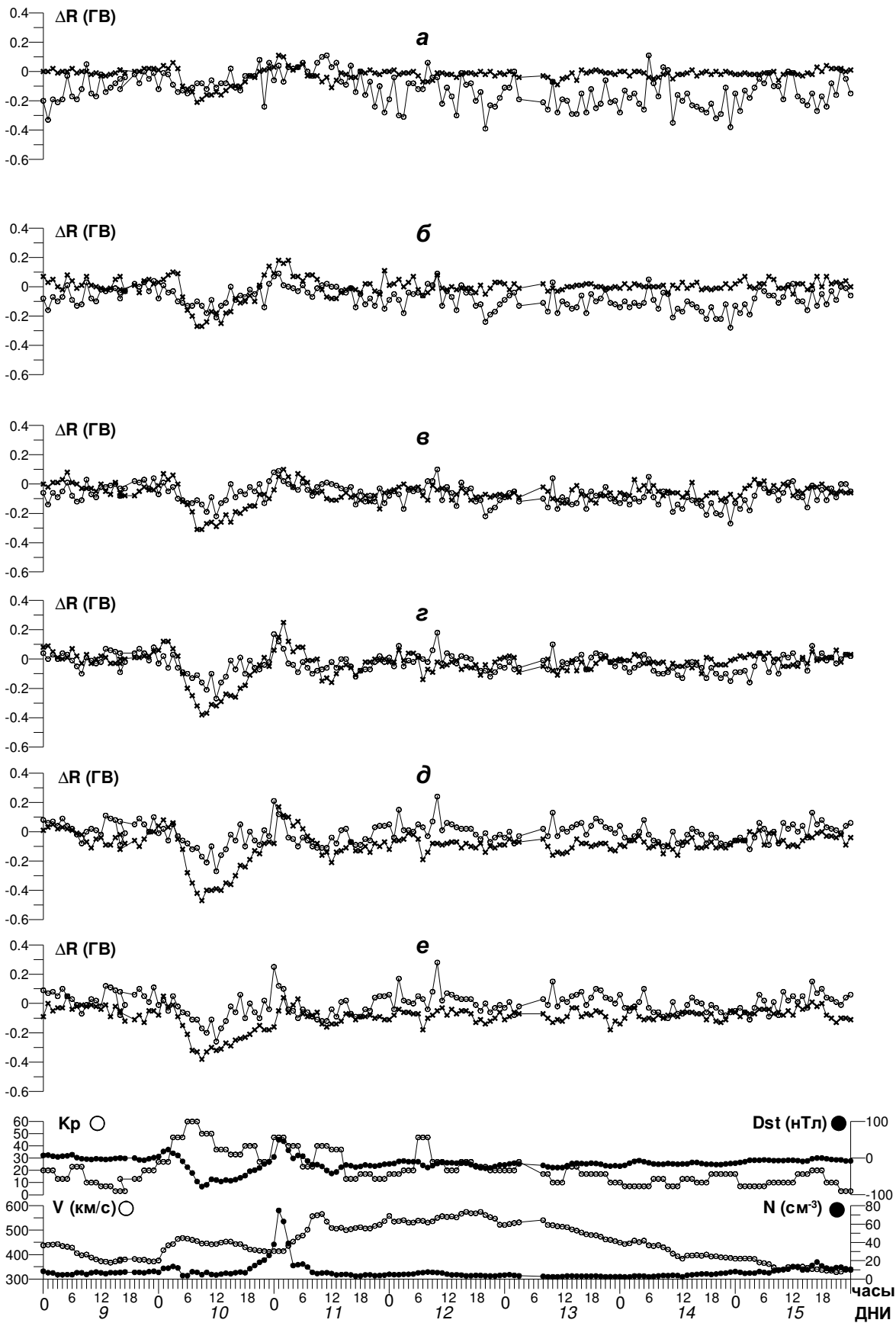


Рис. 1. Геомагнитные пороги в период 09–15.01.97 (ΔR_{sgs} - кружки, ΔR_{ef} - крестики, *a* — Токио, *b* — Алма-Ата, *c* — Рим, *d* — Иркутск, *e* — Москва, *f* — Ньюарк)

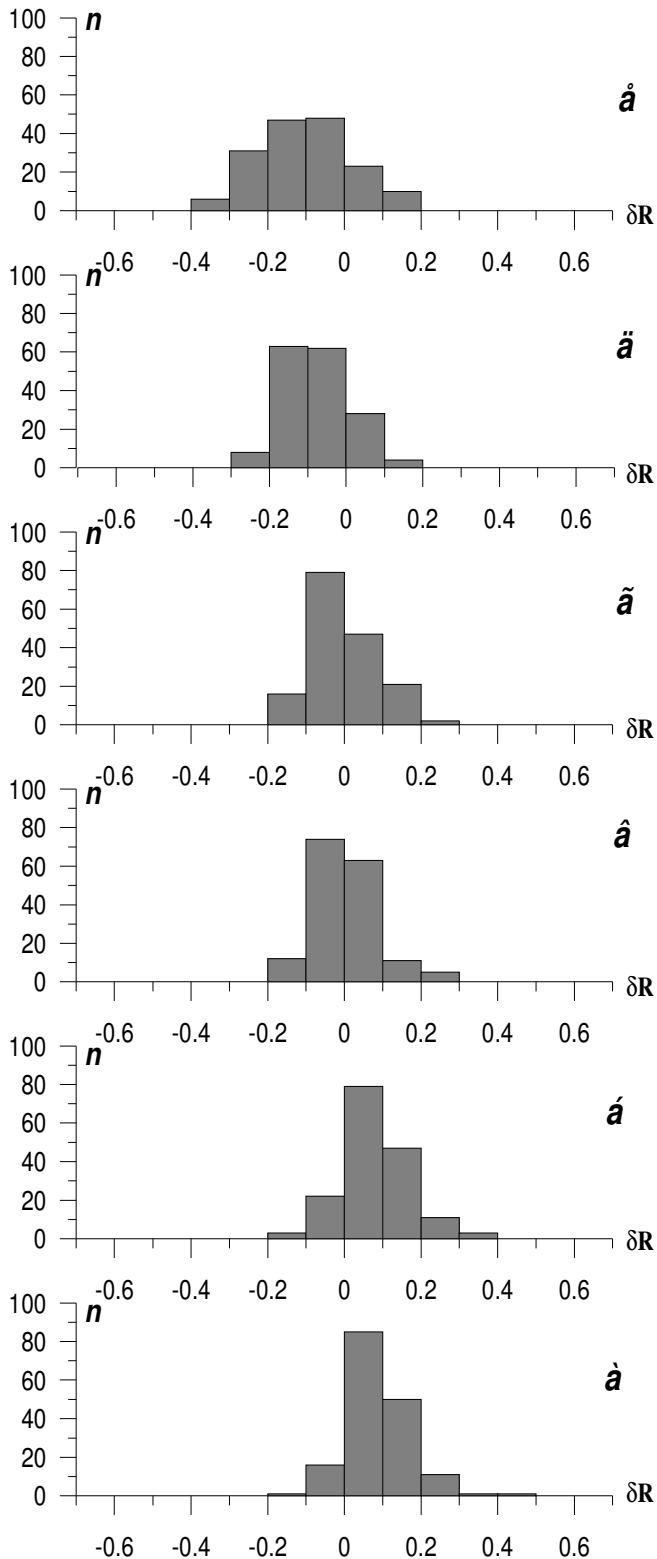


Рис 2. Гистограмма распределения разностей ΔR между теоретическими и экспериментальными геомагнитными порогами 9-15 января 1997 г. (а - Ньюарк, б - Москва, в - Иркутск, г - Рим, д - Алма-Ата, е - Токио)

Список литературы

- [1] McCracken K.G., U.R. Rao, and M.A. Shea. M.I.T. Tech. Rep.77, Lab. for Nucl. Sci. and Eng., Mass. Inst. of Technol., Cambridge, 1962.
- [2] Dorman L.I., V.S. Smirnov, and M.I. Tyasto Cosmic rays in the Earth's magnetic field, Washington] NASA, Springfield, Va. (1973)
- [3] Тясто М.И.и др., Геомагнетизм и аэрономия, Т., 48, № 6, С. 723-740, 2008 г.
- [4] Tyasto M.I. et al., Bull.of Russia Academy of Sciences: Physics, 2009, Vol.73/, № 3, .385-387, 2009, Doi: 10.3103/S1062873809030265
- [5] Tyasto M.I. et al, Proceed. Intern. Conf."Fundamental Space Research", Sunny Beach, Bulgaria, 2008, 134-137, 2008
- [6] Belov A.V. et al., . J. Geophys. Res., 110, A09S20, 2005. doi: 10.1029/2005JA011067
- [7] Bochev A.at al., Proceed. Intern. Conf."Fundamental Space Research", Sunny Beach, Bulgaria, 2008, 134-137, 2008.
- [8] Vilante, U, et al., Geophys. Res. Lett., 25, 2593-2596, 1998.
- [9] Дорман Л.И. и др. Эффективные жесткости обрезания космических лучей. М., «Наука», 1972 г.
- [10] Cooke D., J., et al., Nuovo Cimento, C. 14, 213-234, 1991.
- [11] Tsyganenko N.A. J. Geophys. Res., 107, No. A8, 1176, 2002. doi:10.1029/2001JA000220
- [12] Tsyganenko N.A. J. Geophys. Res., 107, No. A8, 1179, doi:10.1029/2001JA000219 2002
- [13] Tsyganenko N.A., H.J. Singer, and J.C. Kasper. J. Geophys. Res., 108, No. A5, 1209, doi: 10.1029/2002JA009808 2003.
- [14] Дворников В.М., Сдобнов В.Е. Изв. АН ССР . Сер. Физ. Т. 55. №10. С. 1988-1991. 1991.
- [15] Dvornikov V. M. and Sdobnov V. E. Int. J. Geomagn. Aeron., V. 3, No 3, 217-228, 2002.
- [16] Дворников В.М и др., Геомагнетизм и аэрономия, Т..45, № 1, С.58-63, 2005.
- [17] Tyasto M.I. et al., Adv. Space Res., 42, 1556-1563, 2008.