

СУТОЧНАЯ ВАРИАЦИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ, СВЯЗАННАЯ С ВЫСОКОШИРОТНЫМИ МАГНИТОСФЕРНО-ИОНОСФЕРНЫМИ ТОКОВЫМИ СИСТЕМАМИ

А.Е. Левитин, Л.И. Громова, Л.А. Дремухина (*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), Троицк, Московская обл., Россия*)

Аннотация. Измерения интенсивности космических лучей, проводимые в полярных шапках (нейтронные мониторы в Туле, геомагнитная широта 84.8° , и МакМердо - широта -79.9° , данные за 2006-2010 гг.) используются для проверки воздействия на эту интенсивность магнитного поля, создаваемого магнитосферными токами, текущими в области высоких широт вдоль силовых линий геомагнитного поля. Наличие такой связи в районе, где эти силовые линии практически радиальные, меняет существующее мнение о том, что частицы космических лучей в области полярных шапок имеют беспрепятственный доступ в атмосферу.

Введение

Измеряемое в любой точке околоземного пространства переменное магнитное поле Земли является суммой полей от различных токовых источников. Ими являются: ток на магнитопаузе (DCF), токовая система кольцевого тока (DR), токовая система хвоста магнитосферы (DT), и токовая система в высокоширотной части магнитосферы (DP) [Feldstein et al., 2004]. В ИЗМИРАН создана модель трехмерных высокоширотных токовых систем, контролируемых параметрами межпланетной среды [Feldstein and Levitin, 1986]. На основе этой модели может проводиться оценка пространственно-временного распределения продольного, текущего вдоль силовых линий, геомагнитного поля тока в области высоких широт. Наличие такого тока в полярной шапке, где он направлен практически вдоль радиуса Земли, приводит к генерации магнитного поля, направленная интенсивность продольного тока зависит от ситуации в межпланетной среде на него перпендикулярно этому радиусу. Это поле реально фиксируется магнитометрами, установленными на космических аппаратах, орбиты которых проходят через область высокоширотной магнитосферы [Feldstein and Levitin, 1986]. Таким образом, проходящая через полярную шапку частица космических лучей с малой энергией может не иметь беспрепятственный доступ в атмосферу. А так как уровне орбиты Земли, то может существовать вариация интенсивности космических лучей, регистрирующихся мониторами станций, расположенных в полярной шапке. При этом, как следует из модели ИЗМИРАН и экспериментальных магнитных данных, интенсивность существующих продольных токов в полярной шапке зависит от положительной вертикальной компоненты ($B_z > 0$) вектора межпланетного магнитного поля (ММП). Поэтому значительные продольные токи возникают при отсутствии известных геомагнитных возмущений (суббури, бури), обусловленных $B_z < 0$ ММП, на фоне спокойного состояния геомагнитной активности, определяемой индексами геомагнитной активности Dst , K_p , $AE(AU, AL)$, PC .

В настоящей работе мы, опираясь на модель ИЗМИРАН, проводим проверку возможной связи интенсивности космических лучей (нейтронные мониторы в Туле, геомагнитная широта 84.8° , и МакМердо – геомагнитная широта -79.9° , данные за 2006-2010 гг.) с положительной B_z компонентой ММП.

Модель ИЗМИРАН высокоширотных токовых систем

Модель ИЗМИРАН (IZMEM model) представляет собой набор моделей, включающий в себя: модель крупномасштабных геомагнитных вариаций в высоких широтах, контролируемых параметрами межпланетной среды; модель потенциала j электрического поля E в высокоширотной ионосфере; модель электрического поля $E = -\nabla j$ и модель электрических токов в высокоширотной ионосфере. Последние три модели были получены на основе модели геомагнитных вариаций и конкретной модели интегральной проводимости ионосферы.

Модель ИЗМИРАН крупномасштабных геомагнитных вариаций и токовых систем в высоких широтах северного полушария была создана на основе корреляции среднечасовых значений горизонтальных (X , Y) компонент вектора магнитного поля Земли, измеренных на конкретных высокоширотных обсерваториях, с параметрами солнечного ветра: скоростью (V), плотностью плазмы (N) ветра, компонентами B_z и B_y вектора межпланетного магнитного поля. Подобные корреляционные связи были получены и другими коллективами [ссылки в [1]] с использованием различного по временным периодам экспериментального материала. Таким образом, была подтверждена объективность (реальность) получаемых регрессионных уравнений и их

способность достаточно правдоподобно описывать пространственное распределение магнитных возмущений, связанных с высокоширотными токовыми системами.

Естественно, что модели, основанные на среднечасовых геофизических параметрах, не могут детально описывать распределение полей и токов во время магнитосферных суббурь. Но они способны описывать изменение пространственной структуры полей и токов в зависимости от ситуации в солнечном ветре на уровне орбиты Земли и давать верное представление о поведении магнитного возмущения вдоль геомагнитных широт и долгот. Не давая точного значения амплитуды параметров электромагнитной погоды в конкретной точке наблюдения, такие модели хорошо прогнозируют относительное изменение амплитуды полей и токов от точки к точке. Тем самым модели помогают выделить главные существенные моменты в пространственно-временном поведении полей и токов и предсказать поведение электромагнитных параметров не только в отдельных точках наблюдения, но в целых областях, а, значит, помогают связать разрозненные геофизические наблюдения в разных точках пространства в единую картину.

Каждый из параметров модели $P(\Phi', MLT)$ описывается суммой:

$$P(\Phi', MLT) = K_i^+ \times B_y + K_z^+ \times B_z + P_0^+$$

Здесь B_y и B_z – компоненты вектора ММП, а коэффициенты K_i^+ и слагаемое P_0^+ различны в зависимости от знака B_z : K_i^+ и P_0^+ отвечают ситуации в ММП $B_z > 0$, а K_i^- и P_0^- – ситуации $B_z < 0$. Модель представляет собой совокупность наборов K_i^+ и P_0^+ для трех сезонов года и двух полушарий Земли, позволяющих получить амплитуды любого из параметров: потенциала электрического поля в ионосфере, ионосферного тока, поперечного и продольного токов в ионосфере. При анализе связи интенсивности космических лучей с продольными токами нас интересует единственный параметр – продольный ток, контролируемый $B_z > 0$ ММП. При анализе связи интенсивности космических лучей с продольными токами нас интересует единственный параметр $J_{||}$ – продольный ток. Поэтому из всех параметров нашей модели остановимся только на токах $J_{||}$, а именно, на пространственно-временном распределении этих токов в зависимости от ММП.

Анализ связи интенсивности космических лучей с продольными токами в полярной шапке

Модель ИЗМИРАН предсказывает наличие продольных токов в полярной шапке, интенсивность которых наиболее существенно зависит от величины $B_z > 0$ ММП. Если действительно магнитное поле от такой системы токов влияет на космические лучи, то с ростом амплитуды этого поля интенсивность космических лучей, регистрируемая в полярных шапках, должна уменьшаться, то есть должна существовать вариация космических лучей, связанная с амплитудой $B_z > 0$ ММП. Для проверки этого предположения были выбраны май-август месяцы пяти исключительно спокойных по солнечной активности, лет (2006 - 2010 гг.). Часовые данные мониторов космических лучей (Туле и МакМердо) в периоды, когда в эти месяцы в течение трех часов подряд среднечасовые амплитуды $B_z > 0$ ММП находились в диапазонах 1 - 3 и 3 - 6 нТл, были сопоставлены между собой. На Рис.1 показаны гистограммы распределения интенсивности космических лучей на мониторах Туле и МакМердо. Приведены диапазоны амплитуд интенсивности космических лучей и процентное содержание амплитуд каждого диапазона от полного числа анализируемых среднечасовых данных, удовлетворяющих условиям выбора значений B_z компоненты: $B_z = 1.79$ нТл, и $B_z = 4.26$ нТл для северного полушария (левая панель) и $B_z = 1.77$ нТл, и $B_z = 4.20$ нТл для южного (правая панель). Вертикальные линии показывают тот диапазон интенсивностей около максимума числа попаданий анализируемых амплитуд, в который попадает около 60% всех исследуемых событий. Гистограммы, построенные по данным станций Туле и МакМердо, демонстрируют подобный характер распределения интенсивности космических лучей при близких значениях B_z . Оценка средних амплитуд интенсивности космических лучей, зарегистрированных мониторами этих станций для двух диапазонов значений B_z ММП, показывает, что средние амплитуды уменьшаются при росте $B_z > 0$ ММП. Так, внутри отмеченных на гистограммах интервалах средние значения интенсивности космических лучей, зарегистрированные монитором Туле, составляют 13668 при $B_z = 1.79$ нТл и 13617 при $B_z = 4.26$ нТл, а для МакМердо: 31060 при $B_z = 1.77$ нТл и 30777 при $B_z = 4.20$ нТл. Таким образом, временная динамика продольных токов, контролируемых $B_z > 0$ ММП, через магнитное поле, которое эти токи создают, влияет на интенсивность космических лучей, измеряемых в полярных шапках нейтронными мониторами.

На Рис. 2 показан суточный ход (магнитное локальное время) коэффициентов линейной корреляции между интенсивностью космических лучей на нейтронных мониторах Туле (вверху) и МакМердо (внизу). Максимумы корреляции приходятся как раз на часы суток, когда интенсивности продольных токов, согласно модели ИЗМИРАН, имеют максимальные амплитуды. На Рис. 3 представлены распределения интенсивности этих модельных токов в северном и в южном полушарии в системе координат: исправленная геомагнитная широта – местное магнитное время, а крестиками отмечены местоположения Туле (слева) и

МакМердо (справа) в те часы суток, когда наблюдается максимальная корреляция значений положительной B_z компоненты ММП и интенсивностью космических лучей, зарегистрированных в северном (Туле) и южном полушарии (МакМердо) для летних сезонов 2006-2010 гг. (см. Рис.2).

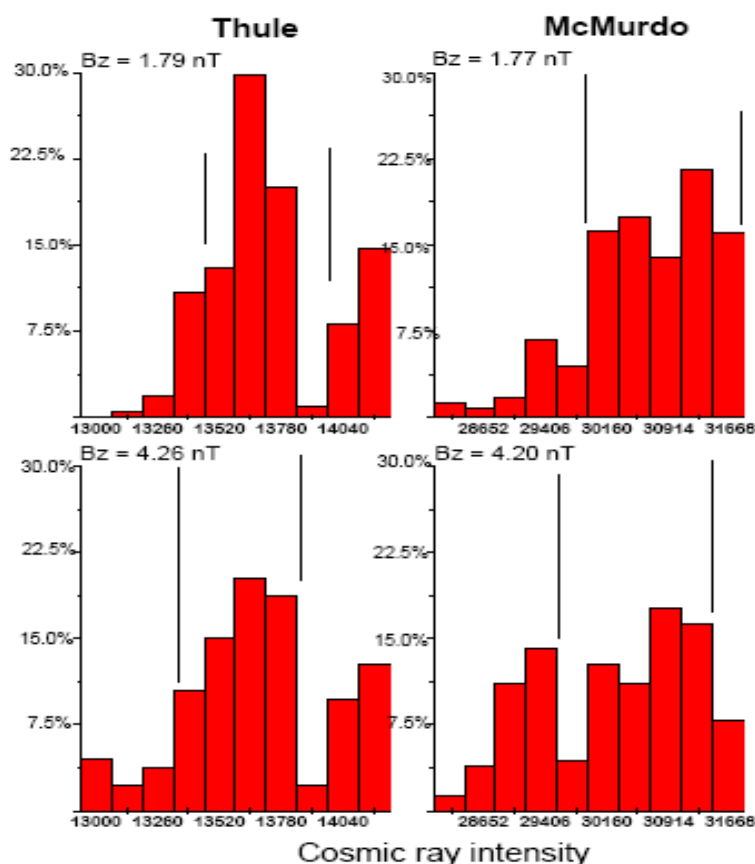


Рис. 1. Гистограммы распределения интенсивности космических лучей на ст. Туле, расположенной в северном полушарии (84.8°, исправл. геом. широта) и МакМердо (-79.9°, исправл. геом. широта) в южном, при разных условиях в межпланетном магнитном поле. По оси ординат: процентное выражение числа амплитуд каждого диапазона от полного числа анализируемых среднечасовых данных, удовлетворяющих условиям выбора значений B_z компоненты: $B_z = 1.79$ нТл и $B_z = 4.26$ нТл для лета в северном полушарии (левая панель) и $B_z = 1.77$ нТл и $B_z = 4.20$ нТл для лета в южном полушарии (правая панель). Вертикальные линии показывают тот диапазон интенсивностей около максимума числа попаданий анализируемых амплитуд, куда попадает около 60% всех исследуемых событий. Среднее значение интенсивности космических лучей для отмеченных диапазонов: 13668 при $B_z = 1.79$ нТл, 13617 при $B_z = 4.26$ нТл для Туле; 31060 при $B_z = 1.77$ нТл, и 30777 при $B_z = 4.20$ нТл для МакМердо.

Заключение

Спутниковые измерения в полярных шапках Земли показали, что там присутствуют токи, текущие вдоль силовых линий геомагнитного поля, которые в этих областях высокоширотного пространства практически радиальные. Согласно модели ИЗМИРАН [2] интенсивность этих токов контролируется положительной вертикальной компонентой $B_z > 0$ вектора ММП, продольные токи возрастают с ростом её амплитуды. Эти продольные токи создают магнитное поле, способное влиять на интенсивность космических лучей, измеряемую в полярных шапках. Совместный анализ данных измерений интенсивности космических лучей, проводимых в нейтронными мониторами в Туле и МакМердо, и интенсивности продольных токов, контролируемых $B_z > 0$ компонентой вектора ММП, показал, что в выбранный период анализа данных (май-август пяти лет значительного минимума солнечной активности 2006 - 2010 гг.) интенсивность космических лучей на указанных станциях уменьшается с ростом амплитуды положительной B_z компоненты вектора ММП. Наличие такой связи меняет мнение о том, что все частицы космических лучей в области полярных шапок имеют беспрепятственный доступ в атмосферу.

Авторы поддерживаются РФФИ, грант 11-05-00306.

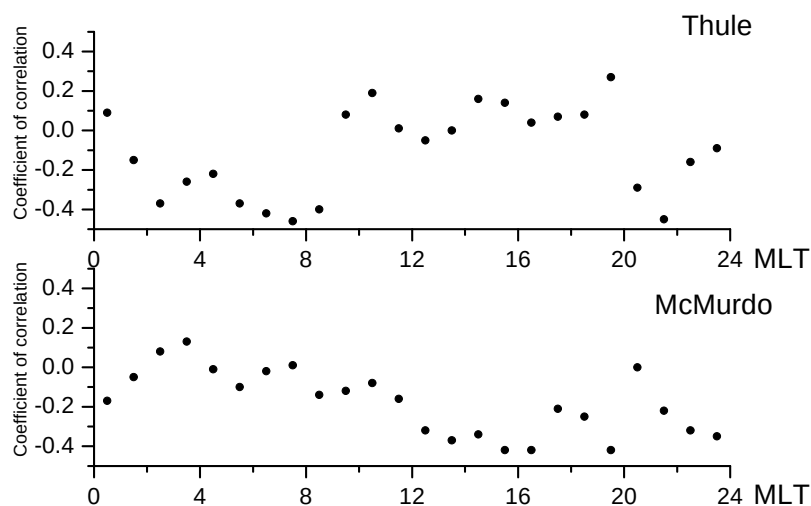


Рис 2. Суточный ход коэффициентов корреляции между положительной B_z компонентой ММП и интенсивностью космических лучей, зарегистрированных в северном (Туле) и южном полушарии (МакМердо) для летних сезонов 2006-2010 гг.

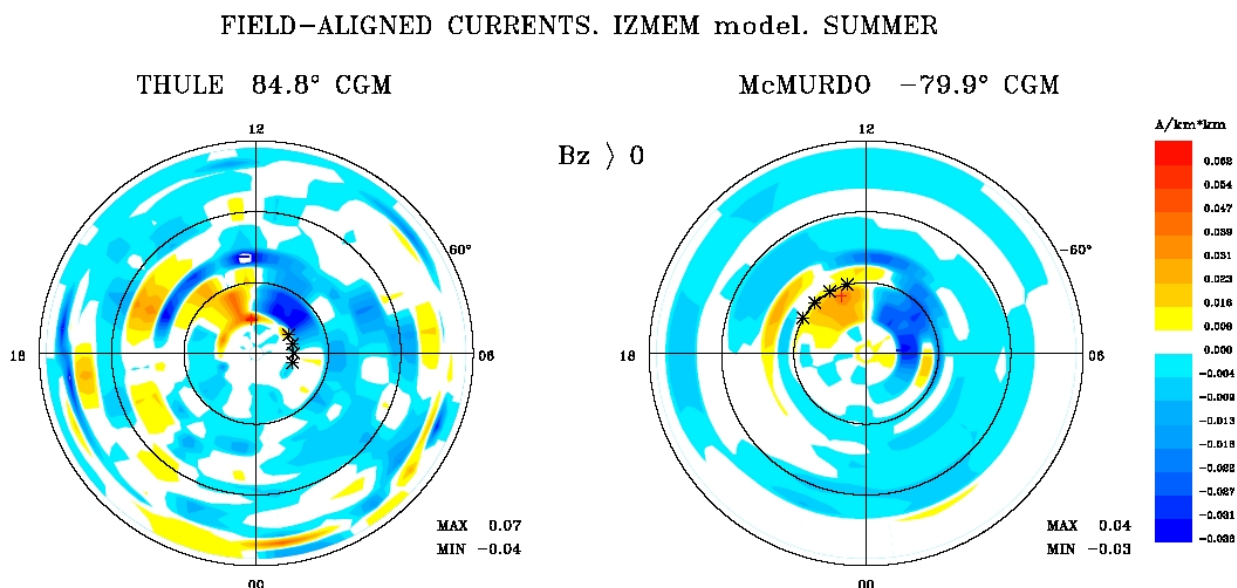


Рис. 3. Распределение продольных токов, рассчитанных по модели ИЗМИРАН на единицу изменения положительной B_z компоненты ММП для северного (слева) и южного полушария (справа) в системе координат: местное магнитное время - исправленная геомагнитная широта (MLT - CGM). «Крестиками» отмечено положение станций Туле и МакМердо в те часы MLT, когда значения коэффициентов корреляции между положительной B_z компонентой и интенсивностью космических лучей были наибольшими.

Список литературы

1. Feldstein, Y. I.; Levitin, A. E.; Kozyra, J. U., Tsurutani, B. T., Prigancova, A., Alperovich, L., Gonzalez, W. D., Mall, U., Alexeev, I. I., Gromova, L. I., Dremukhina, L. A. Self-consistent modeling of the large-scale distortions in the geomagnetic field during the 24–27 September 1998 major magnetic storm, *J. Geophys. Res.*, 110(A11), 11214 -11240, 2004.
2. Feldstein, Ya. I., A. E. Levitin, Solar wind control of electric fields and currents in the inosphere., *J. Geomag. Geoelectr.*, 38, 1143-1182, 1986.