

УДК 550.385.36

## ВАРИАЦІЯ Dst В АМЕРИКАНСЬКОМУ МЕРИДИОНАЛЬНОМУ СЕКТОРЕ

Г. В. Мельник, Л. Н. Яременко

*Інститут геофізики ім. С.І.Субботина НАН України, Київ 03680 пр. Палладина, 32*

**Реферат.** Рассмотрены особенности магнитных бурь в американском меридиональном секторе в сравнении с экваториальным поясом Земли, где в основном выявляются вариации Dst, а также в меридиональных разрезах евроафриканского и австралийско-дальневосточного секторов. Отличия в начальной фазе магнитной бури для разных обсерваторий зависят от долготы и, возможно, связаны со временем прихода ударной волны. Критерием разделения Dst и полярных суббурь служили их широтные зависимости с максимумом Dst и минимумом амплитуд суббурь возле экватора. Характерные Dst выделены в Европе, Азии, Африке, Австралии. В Америке обнаружено необычно сильное смещение максимума Dst на юг, до 40° юж. ш., которое нельзя объяснить смещением магнитного экватора на юг. Южнее, на станции Академик Вернадский, вариации Dst не наблюдаются, хотя в северной Европе на этой широте вариация Dst присутствует. Необычен характер Dst и на обсерватории Сан-Хуан, где Dst обычно меньше нормы, тогда как на обсерватории Куру и других обсерваториях Южной Америки – соответствует прогнозируемым значениям. Показана аномальность Dst и магнитных суббурь на среднеширотных обсерваториях Фредериксбург и Оттава.

**Варіація Dst в американському меридіональному секторі.** Г. В. Мельник, Л. Н. Яременко

**Реферат.** Розглянуто особливості магнітних бур в американському меридіональному секторі у порівнянні з екваторіальним поясом Землі, де головним чином виявляється варіація Dst, а також у меридіональних розрізах евроафриканського та австралійсько-далекосхідного секторів. Відмінності у початковій фазі магнітної бурі для різних обсерваторій залежать від довготи і, можливо, пов'язані з часом приходу ударної хвилі. Критерієм розділення Dst та полярних суббурь служили їх широтні залежності з максимумом Dst та мінімумом амплітуд суббурь біля екватору. Характерного виду Dst виділена в записах обсерваторій Європи, Азії, Африки, Австралії. За записами американських обсерваторій встановлено незвичайно сильне зміщення максимуму Dst на південь, до 40° пд. ш. Зміщенням магнітного екватора на південь це пояснити не можна. Південніше, на ст. Академік Вернадський, варіація Dst не спостерігається, хоча в північній Європі на аналогічній географічній широті варіація Dst присутня. Незвичайним є характер Dst на обсерваторії Сан-Хуан, де Dst зазвичай буває меншою від норми, тоді як в обсерваторії Куру та інших обсерваторіях Південної Америки – відповідає прогнозованим значенням. Показано аномальність Dst та магнітних суббурь на середньо широтних обсерваторіях Фредеріксбург і Оттава.

**Variation of Dst in the American meridional sector** by Melnik G.V., Jaremenko L.N.

**Abstract.** Magnetic storms occurring in the equatorial Earth's belt, where the Dst variation is mainly manifested, and in meridional sections of the American, Euro-African and Australia-Far East sectors were considered. The differences in the initial phase of the magnetic storm for different observatories depend on longitude and may be associated with the time of the shock wave arrival. The criteria distinguishing the Dst and polar substorms were their latitudinal dependence with max Dst and with the minimal substorm amplitudes at the equator. The special Dst-samples were detected in Europe, Asia, Africa, and Australia observatories. In America observatories an unusually strong S-ward Dst maximum shift (to 40°s) was found. This case cannot be explained by the S-ward magnetic equator shift. Further South, at Academic Vernadsky Dst variations are not observed, though they occur at the same geographic latitude in North Europe. An unusual Dst peculiarities are seen at the San-Juan observatory where Dst is usually less than the normal one, while at the observatory Curu and the other Southernmost observatories of North America it coincides with predicted values. Abnormal Dst and magnetic substorms are observed at the mid-latitude Fredericksburg and Ottawa stations.

**Key words:** magnetic storms, magnetic substorms

### Введение

Изменения магнитного поля во время магнитной бури состоят из нескольких фаз: начальной, главной и фазы восстановления, представляющих вместе вариацию Dst, на которую накладываются магнитные суббури. В соответствии с общепринятыми представлениями магнитные бури создаются внеионосферным кольцевым экваториальным током DR с наложением токов полярных суббурь, а также токами на границе магнитосферы DCF и некоторыми другими. Вся система этих токов определяется приходом солнечных заряженных

частиц, приходом межпланетного магнитного поля (ММП), изменением различных его составляющих, увеличением скорости и давления солнечного ветра и т.д.

Экваториальный кольцевой ток существенно варьирует на ночной и дневной сторонах Земли и при разных бурях. Индуцируемый им ток в глубинах Земли (более 1000км) в зависимости от интенсивности бури также вносит различный вклад в регистрируемое суммарное магнитное поле бурь. Параметры суббурь в еще большей степени зависят от местного времени и района наблюдений.

Отдельные бури с выделением асимметричного развития и учетом длительной инжекции частиц в область кольцевого тока подробно рассмотрены Афанасьевой В.И. и др. (1978). Связь вариации Dst, определяемой по наземным данным, с данными о кольцевом токе (по спутниковым данным) и полярными электроструями показана Сумаруком П. В. и др. (1989). Величина уменьшения поля H во время Dst, как показал Бобров М. С. (1991) зависит от направления компоненты Vz межпланетного магнитного поля (ММП). В главной фазе бури происходит одновременное увеличение потоков энергии в кольцевой ток и в авроральную ионосферу. Основная часть энергии накапливается в хвосте и возвращается к Земле во время магнитных бурь. Для очень больших магнитных бурь поле DCF изменяется в пределах 5–100нТл и может ослаблять влияние поля DR на наземные значения Dst (Фельдштейн и др., 1993). Механизм формирования структуры кольцевого тока DR описан Тверским Б. А. (1997). Амплитуда Dst связана с положением максимальной L-оболочки и интенсивностью пояса релятивистских электронов. Считая, что  $L_{max}$  соответствует положению максимального давления плазмы кольцевого тока в момент максимума амплитуды главной фазы бури, рассчитана структура плазменного образования и обоснована концепция адиабатического заброса облака плазмы вглубь магнитосферы во время суббури (Шевнин и др., 1993). Особенности магнитного поля в полярной шапке подробно рассмотрены Сумаруком П.В. и др. (1991, 2000). Характеристики суббурь в Антарктике в сопоставлении с данными обсерваторий других регионов приведены Яременко Л.Н. и др. (1998).

В данной работе рассматриваются изменения наблюдаемого магнитного поля во время бурь в различных областях земного шара с целью выявления аномальных зон, возможно связанных с глубинным строением Земли.

Для анализа использованы данные магнитных обсерваторий, входящих в мировую сеть INTERMAGNET (рис.1), а также спутниковые данные WIND по межпланетному магнитному полю и параметрам солнечного ветра (INTERNET).

## Результаты

На Земле вариация Dst, определяется после исключения из наблюдаемых величин магнитного поля суточных вариаций. Нами использованы одноминутные данные наблюдений H-компоненты. Суточные вариации вычитались по средним величинам за предшествующий буре день и в первый спокойный день после окончания магнитной бури.

Были рассмотрены магнитные бури в экваториальном поясе Земли, где главным образом проявляется вариация Dst, а также в меридиональных разрезах в американском, евро-африканском и австралийско-дальневосточном секторах. Критерием разделения Dst и полярных суббурь служили их широтные зависимости с максимумом Dst и минимумом амплитуд суббурь у экватора.

Изучены 8 бурь за период 1997 – 2001гг., произошедшие в разное время суток. Как одна из характерных рассматривается буря 3-4 мая 1998г., которая началась на фоне восстановительной фазы небольшой предшествующей бури 1-2 мая. Резкое изменение всех составляющих ММП, скорости и плотности ионов и электронов произошло в 2<sup>30</sup> UT (здесь и далее – время мировое UT) 4 мая и, после кратковременного повышения в виде суббури в 3UT, привело к резкому уменьшению магнитного поля, на которое наложилась еще одна суббуря в 5<sup>20</sup> UT, возникшая за счет колебаний в электронных и ионных потоках. Несколько позже на фазе восстановления этой бури произошли очень кратковременные суббури в 6 и 6<sup>30</sup>UT и более продолжительная суббуря в 10UT.

Для выяснения долготных изменений магнитных бурь начнем с самых западных обсерваторий PPT и HON (рис. 1). Они довольно удалены от экватора, но ближе обсерваторий нет и благоприятным является то, что записи к северу и к югу от экватора в данном случае хорошо согласуются. Амплитуды суббурь отличаются только в 19UT 4 мая. В 6-10UT суббури в PPT несколько смещены во времени, что объясняется чувствительностью суббурь к местному солнечному времени.

Восточнее, в KOU и SJG, амплитуды Dst резко уменьшились, но на двух обсерваториях хорошо согласуются. Более восточные обсерватории MBO и ASC расположены в разных полушариях, но Dst сравнима по амплитуде.

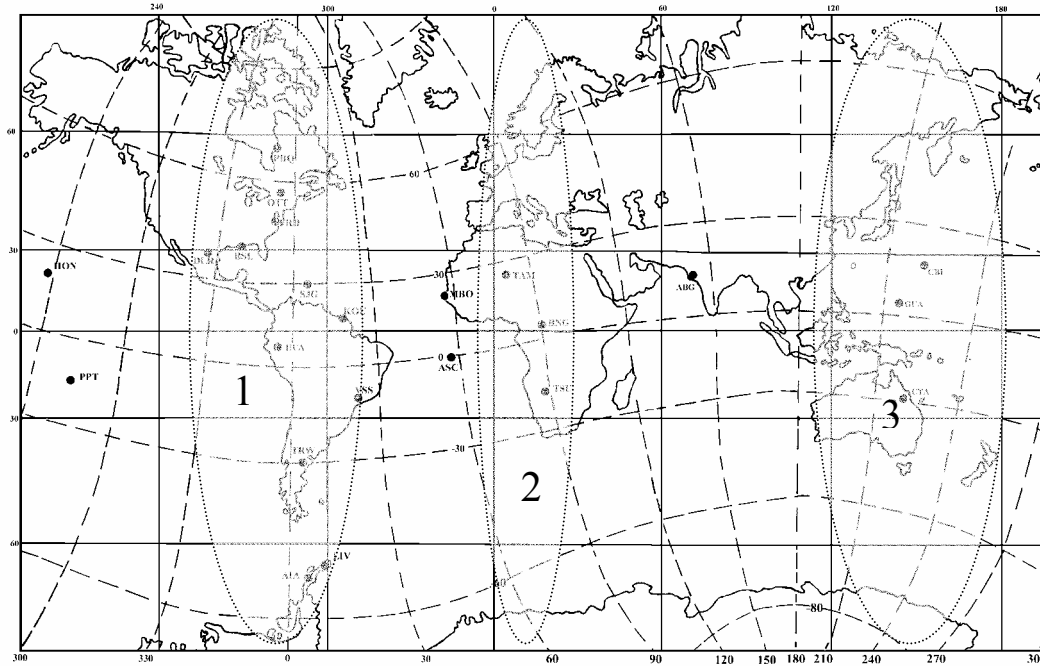


Рис. 1 Схема расположения магнитных обсерваторий, данные которых использовались. Пунктиром приведена геомагнитная координатная сеть, цифрами указаны меридиональные сектора: 1 – американский, 2 – африканский, 3 – австралийско – дальневосточный.

На удаленной на 3,5 часа к востоку BNG видно существенное увеличение Dst (до 200нТл). Почти все суббури в BNG имеют также повышенные амплитуды. Причина, очевидно, в том, что BNG находится в центре африканского материка, а MBO и ASC расположены на побережье океана и на острове. Еще восточнее на 3,5ч, на обсерватории ABG, суббури в 18 – 21UT сильно изменены. В 5UT при минимуме Dst в ABG появилась суббури, которой в BNG не было, которая, однако, наблюдается еще восточнее на всей дневной стороне Земли.

На самой восточной обсерватории GUA Dst еще немного увеличилась по сравнению с ABG. Видны и другие различия в записях суббурь. GUA и СТА, расположенные на одном меридиане, но в разных полушариях, показывают очень близкие вариации. Разница только в меньших амплитудах суббурь в СТА. По широте амплитуда Dst в этом районе мало меняются. Наименьшая величина Dst в СВI, а к югу, на больших расстояниях от экватора (до 30° ю. ш.), Dst имеет ту же величину, что и у экватора, несмотря на то, что и магнитный и геомагнитный экваторы в этом регионе смещены к северу. В Африке минимум Dst смещен на более позднее время и сильно завалирован суббуриями, но при увеличении расстояния от экватора заметно плавное уменьшение амплитуды Dst (например на обсерваториях TSU, TAM).

В Америке эта буря совпала с ночным временем и поэтому значения Dst малы, что видно в KOU и SJG (рис.2). Амплитуды суббурь наоборот, сильно возросли (Таблица). Их плавное увеличение идет от минимума в области экватора (KOU, HUA) к северу. К югу это не так очевидно, поскольку обсерваторий мало, а единственная среднеширотная обсерватория TRW в данном случае оказалась вблизи фокусов вихрей суббурь. Зато более южные обсерватории LIV и AIA оказались расположенными под южной полярной струей, что видно по резко возросшим амплитудам с обратным знаком. Другими словами, AIA находилась в непосредственной близости от струи, что обусловлено наложением этой суббури на магнитосферную бурю.

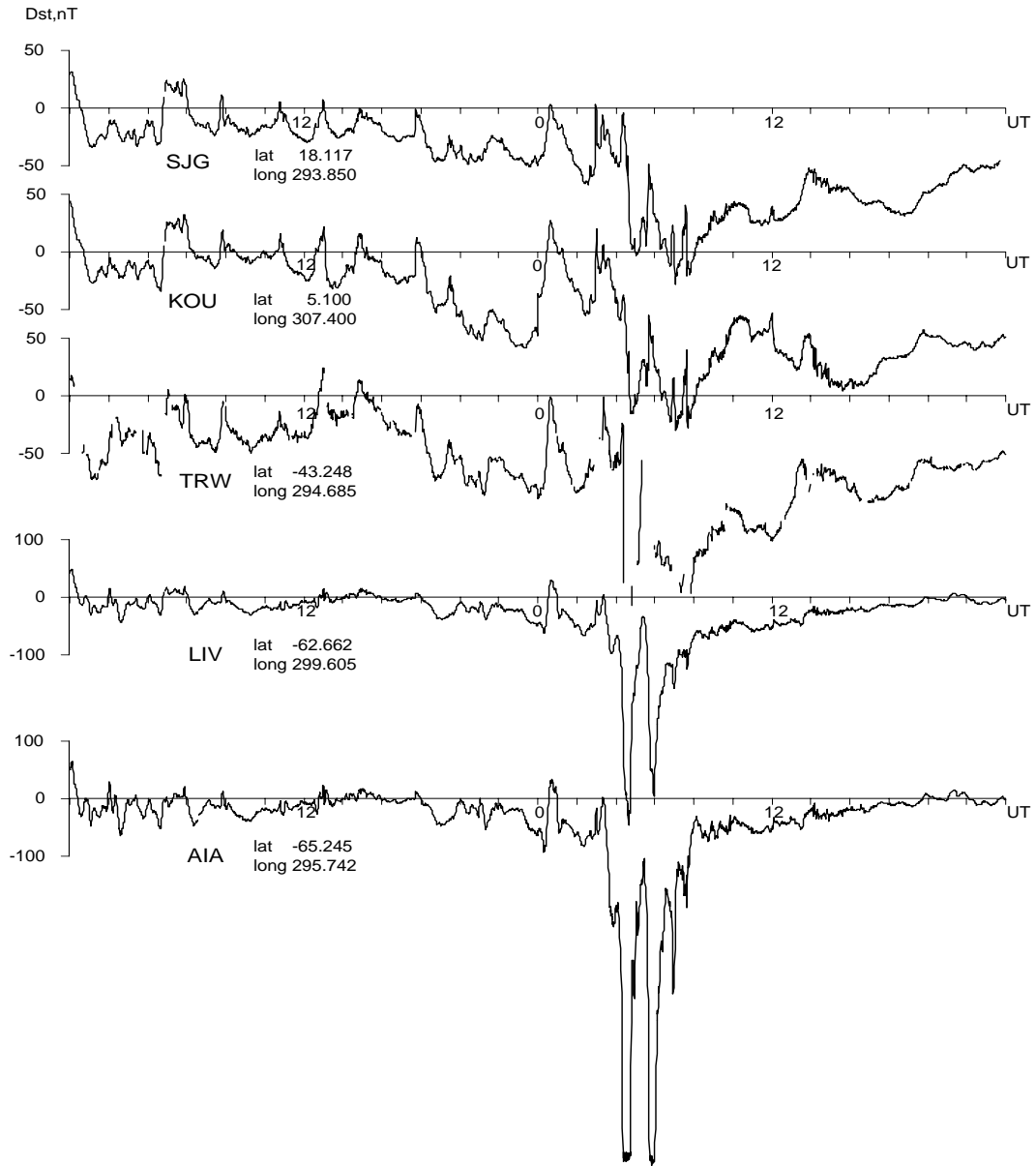


Рис. 2 Магнитная буря 3-4 мая 1998 года в американском меридиональном секторе.

Таблица. Амплитуды суббури 4 мая 1998г.

Название обсерватории	JAGA	Географические координаты		Амплитуды суббури ( $\Delta H, nT$ )	
		$\phi$	$\lambda$	4 <sup>30</sup> UT	6 <sup>00</sup> UT
Фредериксбург	FRD	38° 12'	282° 38'	105	210
Бей – сен – Луи	BSL	30° 24'	270° 36'	215	220
Дель – Рио	DLR	29° 29'	259° 05'	220	245
Сан – Хуан	SJG	18° 07'	293° 51'	40	70
Куру	KOU	5° 06'	307° 15'	20	60
Хуанкайо	HUA	-12° 03'	284° 40'	60	105
Трелью	TRW	-43° 15'	294° 41'	10	35
Ливингстон	LIV	-62° 04'	299° 04'	-430	-410
Аргентинские острова	AIA	-65° 15'	295° 44'	-630	-620

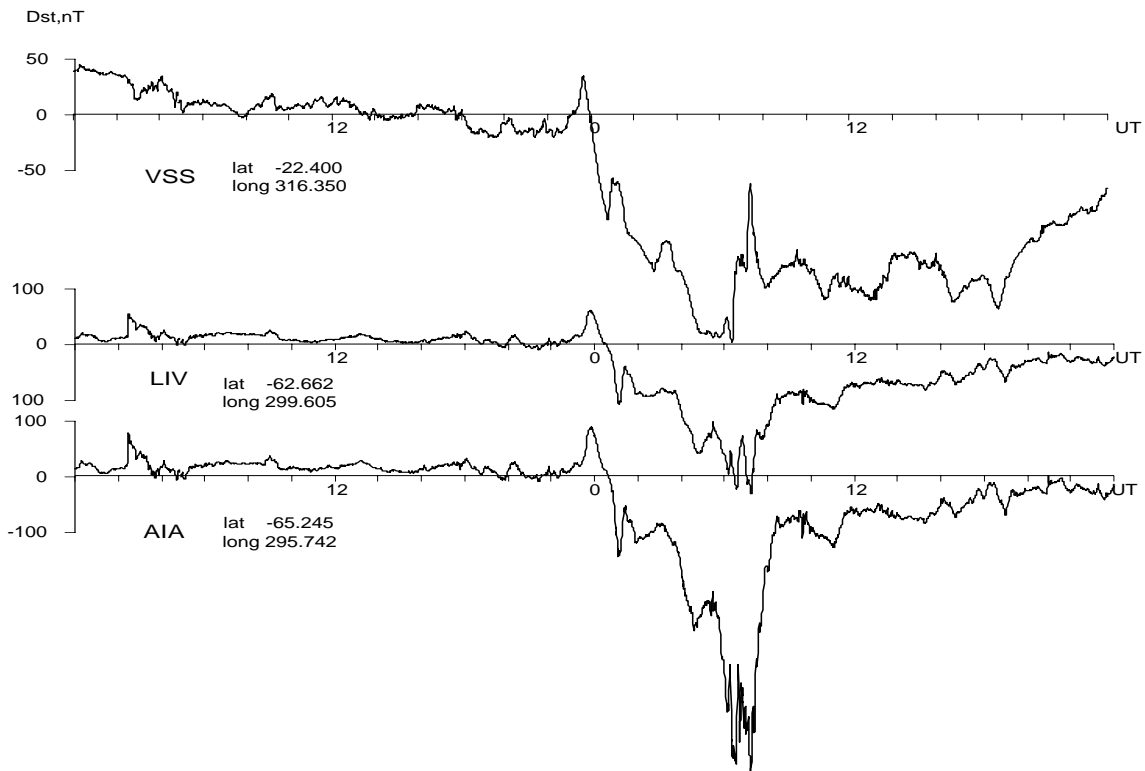


Рис.3. Вариации во время магнитной бури 21-22 октября 1999г, зарегистрированные обсерваториями VSS, LIV и AIA.

Аналогично увеличение амплитуды продолжительной суббури в 4-8 UT в записях AIA и LIV наблюдается во время магнитной бури 21 октября 1999г. (рис.3). Суббури в 4-8ч наиболее четко проявилась в американском секторе в предутреннее время, но несколько измененной она фиксируется по всему миру. Резкое уменьшение амплитуды этой суббури между AIA и LIV с 400 до 170нТл на расстоянии в 2,6° еще раз доказывает, что южная полярная струя проходила в непосредственной близости от AIA. Севернее в VSS отдельные колебания в 6-7UT объединены, что характерно для средних широт, но уменьшение амплитуды идет более

постепенно: на 100нТл при расстоянии 40° по широте. Буря 21 октября 1999г. началась в 2UT, но ее главная фаза началась только в 23UT, а минимум Dst совпал с суббурей в 4-8UT.

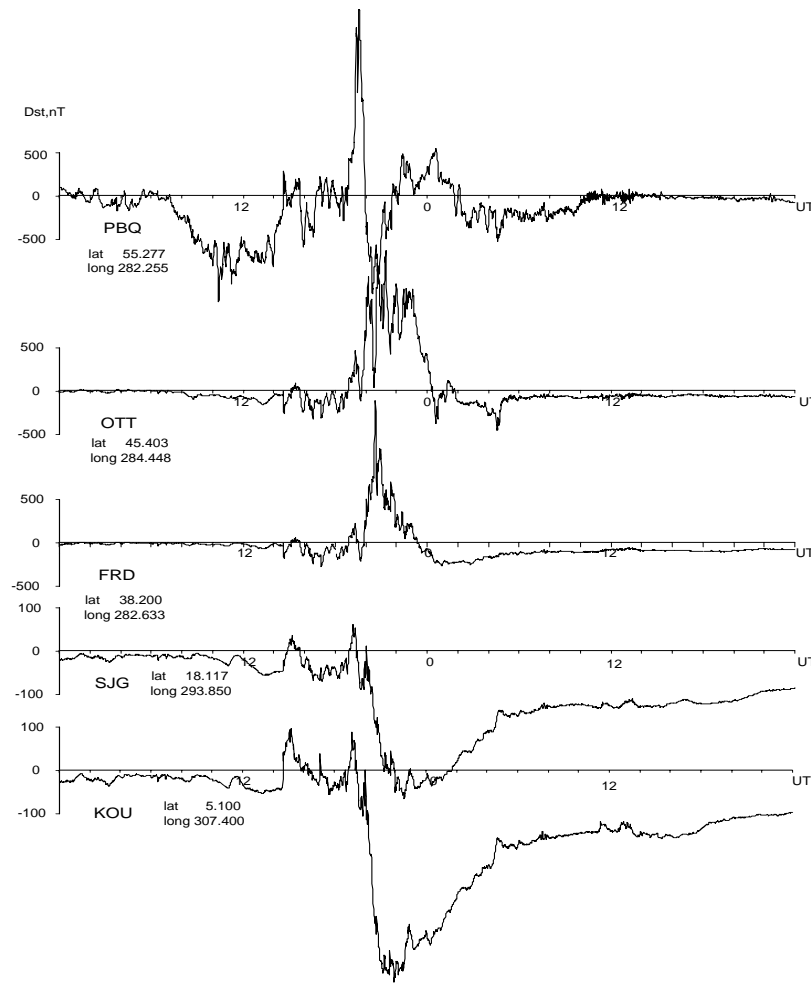


Рис.4 Изменения поля во время бури 15-16 июля 2000г в американском секторе.

Небольшие по амплитудам суббури в 9 и в 20UT 21 октября в AIA и LIV были почти одинаковы, и только после начала действия тока DR (начала главной фазы) различия в величинах отдельных колебаний в AIA и LIV возросли.

Необычные вариации во время магнитных бурь зарегистрированы в обсерваториях FRD и OTT (рис. 4). При нормальном протекании магнитной бури 15-16 июля 2000 г. по всему миру, как, например, в SJG или KOU, в среднеширотной обсерватории FRD на месте главной фазы Dst виден положительный пик 1500 нТл в 20-24UT. Несколько севернее, в OTT, пик еще большей величины стал более продолжительным, а еще севернее в PBQ (обсерватории, как правило, попадающей под полярную струю) наблюдались положительная 2000 нТл и отрицательная -1000 нТл суббури. Аналогичный случай представлен в OTT во время магнитной бури 11-12 апреля 2001 г. Очевидно, при некоторых бурях токи из полярной электроструи настолько сильно затекают в средние широты, что полностью искажают предполагаемое по данным близлежащих обсерваторий поле Dst.

Вариации Dst в SJG оказались меньшей величины по сравнению с Dst на других низкоширотных обсерваториях во время бурь 15-16.07.2000, 31.03-1.04.2001, 25.05.1997, 7.09.2002, 11.04.2001. Объяснить это можно скорее всего увеличением внутриземного индуцированного тока под о. Пуэрто-Рико, ослабляющего влияние магнитосферного тока.

Над Южной Америкой по данным обсерваторий VSS и TRW для большинства рассмотренных магнитных бурь величины главной фазы Dst оказывались больше, чем в KOU и SJG, расположенных ближе к экватору. В данном случае влияет сдвиг магнитного экватора к югу на 13°, а также ослабление постоянного магнитного поля в южной части Атлантического океана и отрицательная аномалия постоянного поля в Южной Америке на широтах 30-40°.

### Выводы

При рассмотрении широтных и долготных изменений Dst и магнитных суббурь, получено, что:

- в разных полушариях Dst хорошо согласуется на одной долготе (за исключением американского меридионального сектора);
- в магнитно-возмущенные дни южная полярная струя может проходить в непосредственной близости или над станцией Академик Вернадский;
- в исключительных случаях в среднеширотных обсерваториях FRD и ОТТ могут регистрироваться интенсивные полярные суббури, полностью искажающие влияние Dst;
- наблюдается увеличение амплитуд Dst и суббурь на материковых обсерваториях по сравнению с океаническими;
- по уменьшенным величинам Dst в обсерватории SJG можно предположить, что она расположена над зоной повышенной проводимости Земли;
- ток DR над Южной Америкой протекает значительно южнее, захватывая обсерватории VSS и TRW, что обусловлено как сдвигом магнитного экватора на 13° к югу, так и отрицательной аномалией магнитного поля под Южной Америкой на широте 30-40°.

### Литература

- Афанасьева В. И.**, Шевнин А. Д., Чимиддорж Г. Асимметрия Dst – вариации в зависимости от местного времени // Геомагнетизм и аэрономия. – 1978. – XVIII, №4. – С. 684-694.
- Бобров М. С.** Об условиях, приводящих к усеченным формам Dst-вариации // Геомагнетизм и аэрономия. – 1991. – т. 31, №3. – С. 410-413.
- Сумарук П. В.**, Фельдштейн Я. И., Белов Б. А. Динамика магнитосферной активности в период интенсивной магнитной бури // Геомагнетизм и аэрономия. – 1989. – XXIX, №1. – С. 110-115.
- Сумарук П. В.**, Фельдштейн Я. И., Белов Б. А. Связь интенсивности авроральных электроструй, кольцевого тока и его асимметрии с инжекцией энергии из солнечного ветра // Геофизический журнал. – 1991. – т. 13, №6. – С. 62-66.
- Сумарук П. В.**, Сумарук Ю. П., Бахмутов В. Г. Варіації магнітного поля в Антарктиді і міжпланетне магнітне поле // Бюл. Укр. антарк. центр. – 2000. – Вип. 3. – С. 176-183.
- Тверской Б. А.** Механизм формирования структуры кольцевого тока магнитных бурь // Геомагнетизм и аэрономия. – 1997. – т. 37, №5. – С. 29-34.
- Фельдштейн Я. И.**, Вешезерова У. Б., Голышев С. А. и др. Кольцевой ток и авроральные электроструи в связи с параметрами межпланетной среды // Геомагнетизм и аэрономия. – 1993. – т. 33, №6. – С.47-57.
- Шевнин А. Д.**, Евдокимова Л. В. Параметры межпланетной среды для очень больших магнитных бурь // Геомагнетизм и аэрономия. – 1993. – т. 33, №4. – С. 69-78.
- Яременко Л. Н.**, **Бахмутов В. Г.**, **Мищенко Ю. П.** Некоторые данные о магнитных суббурях в Антарктике // Бюл. Укр. атарк. центр. – 1998. – Вип. 2 – С. 133 – 141.