

Долготные вариации компонент геомагнитного поля и параметров ионосферы северного полушария в спокойных и возмущенных условиях

Черниговская М.А (cher@iszf.irk.ru), Шпынев Б.Г., Хабитуев Д.С
Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск



Введение

Высокие широты ~70° с. ш. Средние широты ~55° с. ш.

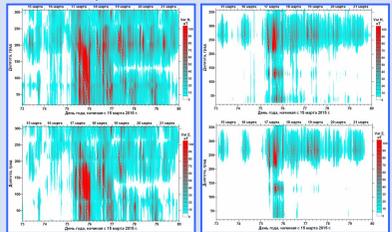


Рис. 1.

В работах (Шпынев и др., *Современные проблемы ДЗЗ из космоса, 2017*; Shpynev et al., *JASTP, 2017*) по данным высоко- и среднеширотной цепочек магнитометров в вариациях геомагнитного поля (ГМП) во время сильной магнитной бури 17 марта 2015 г. установлена долготная асимметрия. На средних широтах Евразийского континента четко проявлялись две зоны повышенного уровня вариаций ГМП (центрированные вблизи долгот ~30-40° и ~130-140°) и зона минимальных вариаций (вблизи долгот ~80-90°).

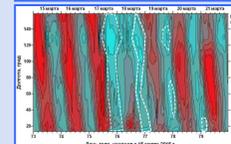
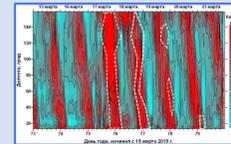


Рис. 2.

По данным евразийской цепи из 8 ионозондов, расположенных в диапазоне широт 50-60° с.ш. с интервалом 15-20° по долготе, в средне-широтной ионосфере на долготах максимумов вариаций геомагнитного поля формировались области пониженной электронной концентрации. При этом главный ионосферный провал смещался на юг в ночное время ниже широты 50° с.ш. В области минимума вариаций наблюдалось быстрое восстановление ионосферы после геомагнитного возмущения и локальный макси-мум ионизации.

Целью данной работы является проверка на основе геомагнитных данных повторяемости и устойчивости наблюдаемой долготной неоднородности вариаций компонент ГМП в северном полушарии в разные сезоны года, при разном уровне солнечной активности при спокойных и возмущенных геомагнитных условиях. Исследование особенностей долготных вариаций компонент ГМП выполнялось на основе двух цепей магнитометров INTERMAGNET (<http://www.intermagnet.org> и https://cdaweb.gsfc.nasa.gov/cdaweb/istp_public/) в северном полушарии в периоды развития магнитных бурь и в спокойной геомагнитной обстановке в 2011-2017 гг. Высокоширотная цепь вблизи ~70° с.ш. состояла из 12 магнитометров, среднеширотная цепь вблизи ~55° с.ш. состояла из 14 магнитометров (рис. 3).

В магнитном поле Земли, имеющем, в целом, дипольную конфигурацию, наблюдаются **пространственные и временные аномалии** (отклонения значений напряженности ГМП от его средних показателей на поверхности Земли для конфигурации эквивалентного диполя ~20%), т.е. структура ГМП нерегулярна (рис. 4). Долговременные аномалии ГМП, связанные с процессами во основном (внутреннем) источнике магнитного поля Земли (жидком земном ядре, мантии, земной коре), с периодами от 10 до 10000 лет характеризуются охватом больших пространственных территорий. Кратковременные резкие возмущения ГМП длительностью от нескольких часов до нескольких суток, вызванные активными событиями на Солнце, называются магнитосферными бурями. Пространственные магнитные аномалии на Земле делятся на локальные, региональные и континентальные.

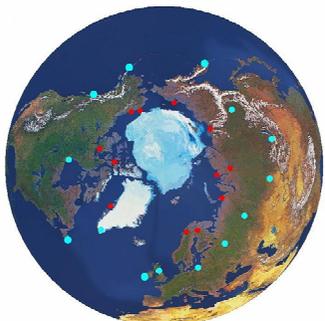


Рис. 3. Схема расположения геомагнитных обсерваторий

№	Станция	IAGA коды	Географические координаты	
			Широта	Долгота
Высокие широты ~70° с.ш.				
1	Абиско	ABK	68,4	18,8
2	Соланкола	SOD	67,4	26,6
3	Амдерма	AMD	69,5	61,4
4	Диксон	DIK	73,5	80,6
5	Норильск	NOK	69,4	88,1
6	Бухта Тикси	TIK	71,6	129,0
7	Певек	PVK	70,1	170,9
8	Барроу	BRW	71,3	203,4
9	Дедхорс	DED	70,4	211,2
10	Кембридж-Бэй	CBV	69,1	255,0
11	Резолот-Бэй	RES	74,7	265,1
12	Кекертареуак	GDH	69,3	306,5

№	Станция	IAGA коды	Географические координаты	
			Широта	Долгота
Средние широты ~55° с.ш.				
1	Хейл	HLP	54,6	18,8
2	Борок	BOX	58,1	38,2
3	Арти	ARS	59,4	58,6
4	Новосибирск	NVS	54,8	83,2
5	Иркутск	IRT	52,2	104,5
6	Якутск	YAK	62,0	129,7
7	Паратунка	PET	53,0	158,2
8	Остров Шуматина	SHU	55,4	199,6
9	Ситка	SIT	57,1	224,7
10	Форт Черчилль	FCC	58,8	265,9
11	Сент-Джонс	STJ	47,6	307,3
12	Нарсаруак	NAQ	61,2	314,6
13	Валентия	VAL	51,9	349,8
14	Эскдалемур	ESK	55,3	356,8

Используемые для анализа данные:

- Первичными временными рядами являются 1-минутные данные H- и Z-компонент ГМП.
- В качестве основного параметра для анализа используется дисперсия данных H- и Z-компонент ГМП.
- Фоновые значения невозмущенных суточных вариаций ГМП рассчитываются как скользящее среднее значение за ±14 дней для каждого местного часа. Это усреднение позволяет исключить влияние прилива Солнца и Луны в суточных вариациях.
- Дисперсия рассчитывается как стандартное отклонение относительно фоновых невозмущенных значений.

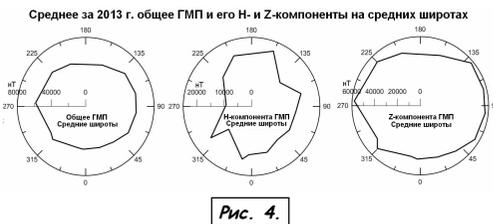


Рис. 4.

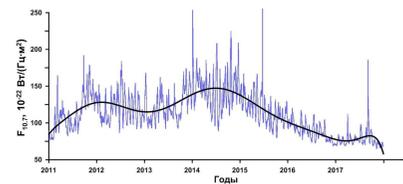


Рис. 5.

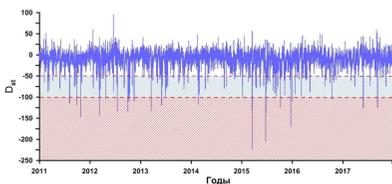


Рис. 6.

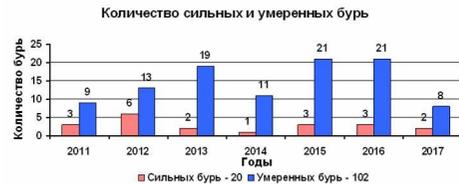


Рис. 7.

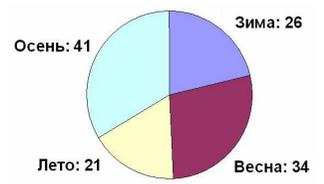


Рис. 8.

Временной интервал 2011-2017 гг. охватывает периоды роста, максимума и спада активности 24 солнечного цикла (рис. 5). В анализируемом периоде выделено 122 события магнитных бурь: 102 умеренных (D_{st} от -50 до -100 нТл) (рис. 6, голубая штриховка) и 20 сильных (D_{st} ниже -100 нТл) (рис. 6, розовая штриховка). Выполнен статистический анализ распределения магнитных бурь по годам (рис. 7) и сезонам (рис. 8).

Временные вариации частоты магнитных бурь проявляют прямую зависимость от уровня солнечной активности (см. рис. 5 и 7), а также давно установленную сезонную (полугодовую) зависимость с существенным превышением числа магнитных бурь в равноденственные периоды по сравнению с периодами солнцестояния (рис. 8).

Подтверждено, что структура вариаций ГМП в северном полушарии существенно отличается от модели магнитного диполя, что обусловлено несовпадением северного географического и геомагнитного полюсов, а также, возможно, наличием аномалий различных пространственных масштабов в фоновом магнитном поле Земли (рис 4). Неоднородность вариаций ГМП наиболее ярко проявляется во время мощных геомагнитных возмущений, когда формируются ярко выраженные сектора повышенных вариаций ГМП, не обладающие долготной симметрией (рис. 8,9). Зона сильных вариаций H- и Z-компонент ГМП формируется в направлении меридиана геомагнитного полюса $\sim 270^\circ$ (в географических координатах) в средних и высоких широтах (рис. 8) как в условиях низкой, так и возмущенной геомагнитной активности. В магнито-возмущенные периоды в средних широтах образуются дополнительные зоны сильных вариаций магнитного поля Земли в восточном полушарии. Между этими зонами практически всегда образуется сектор с наименьшими вариациями геомагнитного поля на долготах 80° - 110° (рис. 9, вверху). Для анализа среднегодовых вариаций ГМП в возмущенных условиях мы исследовали дисперсии распределений H- и Z-компонент ГМП в полярных координатах во время умеренных и сильных бурь за каждый год анализируемого периода. На рис. 9 приведен пример такого распределения для 2013 г., в течение которого произошли 19 умеренных и 2 сильных магнитных бури.

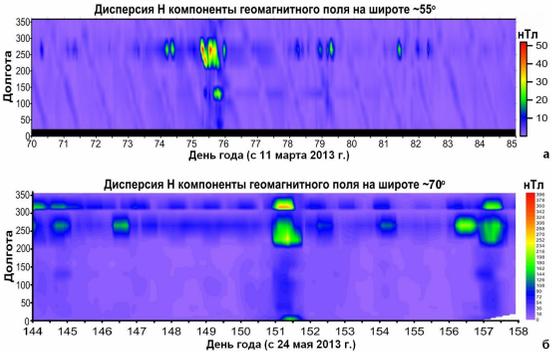


Рис. 8. Долготно-временные распределения вариаций H-компоненты ГМП в средних высоких широтах в течение периода, связанного с магнитной бурей 16-17 марта 2013 г. ($D_{st} = -132$) (а) и в высоких широтах в течение периода, связанного с магнитной бурей 31 мая 2013 г. ($D_{st} = -119$) (б).

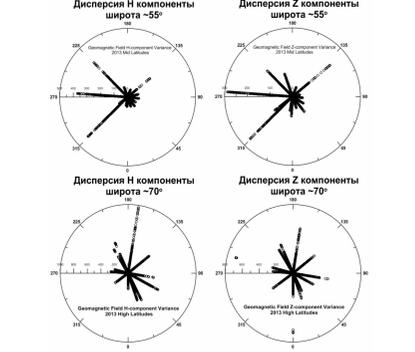


Рис. 9. Долготные распределения дисперсий H- и Z-компонент ГМП в полярных координатах для 21 магнитной бури 2013 г. в средних (вверху) и высоких (внизу) широтах.

Выводы

- В высоких широтах практически не отмечается критических различий в вариациях ГМП на разных долготах. В средних широтах выделяются долготные зоны сильных вариаций ГМП для горизонтальной H-компоненты магнитного поля. Вариации вертикальной Z-компоненты ГМП слабо зависят от долготы (рис. 9).
- В магнито-возмущенные периоды в средних широтах над Евразией образуются две зоны сильных вариаций ГМП на долготах $\sim 40^\circ$ и $\sim 130^\circ$. В секторе долгот 80° - 110° , где располагается Восточносибирская континентальная магнитная аномалия (рис. 4,8,9), отмечаются наименьшие вариации ГМП. В Канадском секторе повышенные вариации ГМП отмечаются на долготах $\sim 225^\circ$, $\sim 270^\circ$ и $\sim 315^\circ$.
- Особенности долготно-временных вариаций ГМП зависят от индивидуальных характеристик развития каждой магнитной бури (рис. 8). Однако для всех рассмотренных магнитных бурь характер долготной зависимости величин вариаций ГМП аналогичен, практически не зависит от уровня солнечной активности и от сезона года.
- Абсолютные значения величин дисперсий компонент ГМП в высоких широтах примерно в два раза превышают величины дисперсий вариаций в средних широтах (рис. 8,9).

Особенности долготной структуры и вариаций магнитного поля Земли приводят к тому, что эффекты магнитосферных бурь в ионосфере также обладают выраженной долготной неоднородностью.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-05-00681-а.