

УДК 550.385.37: 550.388

ФЛУКТУАЦИИ УРОВНЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ, ВЫЗВАННЫЕ ДВИЖЕНИЕМ МАГНИТОСОПРЯЖЕННОГО СОЛНЕЧНОГО ТЕРМИНАТОРА

М. А. Шамота

Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Украина
Поступила в редакцию 4 марта 2010 г.

В статье проанализированы результаты наблюдений квазипериодических вариаций геомагнитного поля вблизи г. Харькова в диапазоне периодов 1 – 1000 с, сопутствовавших прохождению магнитосопряженного солнечного терминатора в 2002 – 2008 гг. Наблюдения проводились для летнего и зимнего сезонов. Выявлены квазипериодические возмущения геомагнитного поля, опережавшие прохождению солнечного терминатора над Харьковом на высоте 100 км на 80 – 100 мин. Период этих возмущений составлял 10 – 12 мин, продолжительность – 50 – 60 мин и амплитуда 1 – 2 нТл. Обосновано, что возмущения переносятся при помощи магнитозвуковых волн.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: возмущения геомагнитного поля, магнитосопряженный солнечный терминатор.

В статті проаналізовано результати спостережень за квазіперіодичними варіаціями геомагнітного поля поблизу м. Харкова в діапазоні періодів 1 – 1000 с, які супроводжували проходження магнітоспряженого сонячного термінатора в 2002 – 2008 рр. Спостереження проводились для літнього та зимового сезонів. Виявлено квазіперіодичні збурення геомагнітного поля, що випереджували проходження сонячного термінатора над Харковом на висоті 100 км на 80 – 100 хв. Період цих збурень складав 10 – 12 хв, тривалість – 50 – 60 хв і амплітуда – 1 – 2 нТл. Обґрунтовано, що збурення переносяться із магнітосферної області за допомогою магнітозвукових хвиль.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: збурення геомагнітного поля, магнітоспряжений сонячний термінатор.

This paper analyzes quasi-periodic geomagnetic field variations in 1 – 1000 s period range that connected with the magnetoconjugate solar terminator action in 2002 – 2008. The measurements have been made near Kharkiv city. The processing was made separately for two seasons: summer and winter solstices. Magnetoconjugate solar terminator causes the perturbations relatively the solar terminator moving at the height of 100 km with the lead time 80 – 100 min. Dominant periods were 10 – 12 min and the duration was 50 – 60 min. Their amplitudes attain a value of 1 – 2 nT. These variations are transferred from magnetospheric region by magnetoacoustic waves.

KEY WORDS: geomagnetic field variations, magnetoconjugate solar terminator

ВВЕДЕНИЕ

В работах [3, 4] изучены квазипериодические возмущения геомагнитного поля, сопровождавшие движение солнечного терминатора (СТ). При этом нередко наблюдались квазипериодические возмущения геомагнитного поля, опережавшие прохождению СТ. Основные параметры этих возмущений были близки к параметрам геомагнитных эффектов СТ, описанных в [3, 4]. Мы предположили, что эти эффекты могут быть вызваны прохождением солнечного терминатора через магнитосопряженную область (МСО).

Целью настоящей работы является обнаружение и анализ квазипериодических возмущений, генерируемых прохождением солнечного терминатора через МСО, по результатам наблюдений флуктуаций электромагнитного поля Земли в диапазоне периодов 1 – 1000 с вблизи г. Харькова.

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Измерения магнитной компоненты электромагнитного поля Земли проводились при помощи высокочувствительного магнитометрического комплекса, расположенного в обсерватории Харьковского национального университета имени В. Н. Каразина (с. Граково, Чугуевский район, Харьковская обл.), геомагнитные координаты: + 53.6° геомагнитной широты и 127° геомагнитной долготы. Магнитные координаты МСО: 43.6° геомагнитной широты и 128.3° геомагнитной долготы.

Определению подлежали времена опережения реакции геомагнитного поля на прохождение магнитоспряженного СТ на высоте 100 км, ее продолжительность и спектральный состав возникающих возмущений.

Методики анализа временных вариаций уровня геомагнитных колебаний аналогичны, описанным в работах [2, 3].

Периоды квазипериодических процессов определялись при помощи системного спектрального анализа, включающего в себя оконное преобразование Фурье (ОПФ), адаптивное преобразование Фурье (АПФ) и вейвлет-преобразование (ВП) на основе вейвлета Морле [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Для примера рассмотрим два случая прохождения МСТ в зимний и летний сезоны.

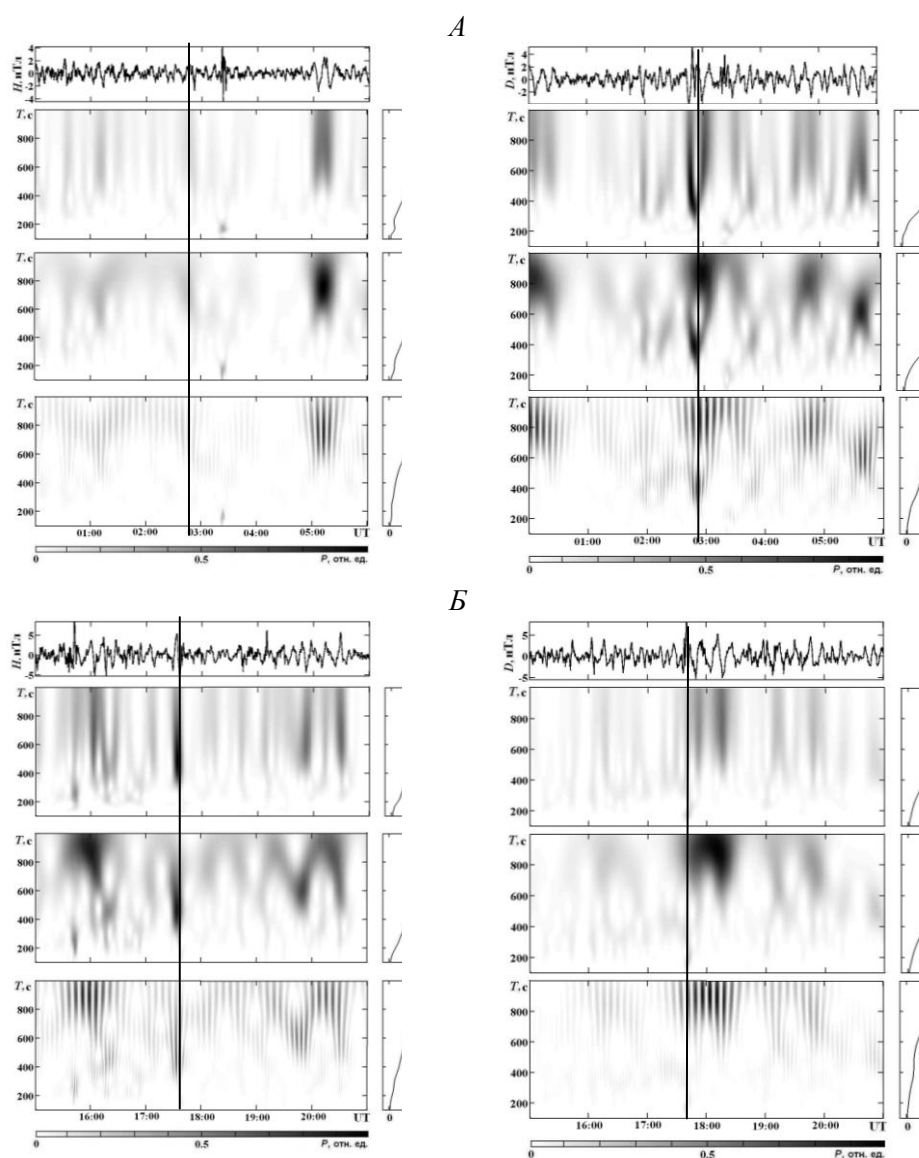


Рис.1. Временные вариации H- и D-компонент геомагнитного поля, результаты ОПФ, АПФ, ВП и энергограммы (справа) в диапазоне периодов 100 – 1000 с, сопровождавшие прохождение солнечного терминатора через магнитоспряженную область 9 декабря 2006 г. (а) и 20 июля 2008 г. (б). Сплошной вертикальной линией показан момент прохождения СТ на высоте 100 км вблизи г. Харькова.

Время опережения реакции геомагнитного поля отсчитывается от момента восхода (захода) Солнца на высоте 100 км над уровнем Земли в месте расположения обсерватории.

На рис. 1 (а), приведены временные вариации уровней горизонтальных компонент геомагнитного поля и их спектров 9 декабря 2006 г. Восход Солнца имел место вблизи г. Харькова на высоте 100 км в 04:07 (здесь и далее используется время UT). Изменения характера сигнала в *D*-компоненте имели время опережения восхода Солнца на высоте 100 км примерно 87 мин и продолжительность 50 мин. Как видно из результатов спектрального анализа, преобладающие периоды составляли около 7 и 15 мин. Возмущения в *H*-компоненте имели время опережения 80 мин и продолжительность около 45 мин. Периоды составляли 10 – 15 мин. Эти возмущения проявлялись как изменение периода существующих волновых процессов в геомагнитном поле и увеличение амплитуды в 1.5 – 2 раза в обеих компонентах сигнала. Для *D*-компоненты эффекты выражены более ярко.

Временные вариации уровней горизонтальных компонент геомагнитного поля и их спектров, сопровождавшие движение вечернего СТ в летнее время, приведены на рис. 1 (б). Заход Солнца на высоте 100 км над уровнем Земли 20 июля 2008 г. наблюдался в 18:58. Эффекты, выраженные как изменение амплитуды и периода продолжительностью около 57 мин, наблюдались со временем опережения 85 мин в *D*-компоненте. В *H*-компоненте имело место возмущение со временем опережения 90 мин и продолжительностью 40 мин. Преобладающие периоды составляли 7 – 9 и 13 – 15 мин для *H*- и *D*- компонент сигнала соответственно. Более четко возмущения регистрировались в *D*-компоненте.

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведены наблюдения за вариациями уровня геомагнитного поля, сопровождавшие прохождение СТ через в характерные сезоны. Замечено, что в большинстве случаев (80 %) наблюдались изменения характера сигналов, которые, в большинстве случаев регистрировались как изменение периода временных вариаций горизонтальных компонент геомагнитного поля и увеличение (в ряде случаев подавление) уровня существующих волновых процессов в 1.5 – 2 раза. Была проведена оценка времен опережения, продолжительностей и преобладающих периодов возможной реакции геомагнитного поля на прохождение СТ магнитосопряженной области. Эффекты представляли собой квазипериодический волновой процесс с преобладающими периодами примерно 10 – 12 мин, длительностью около 50 – 60 мин.

Для подтверждения наличия эффектов магнитосопряженного солнечного терминатора и получения более точных оценок основных параметров волновых процессов был проведен статистический анализ полученного массива данных (табл. 1). Также была проведена аналогичная обработка для контрольных интервалов времени (невозмущенных СТ) и сравнение ее результатов с результатами для исследуемых (возмущенных движением СТ через магнитосопряженную область). Оказалось, что экспериментальный закон распределения величин времен опережения появления ВВ в анализируемые интервалы времени существенно отличается от аналогичного закона для невозмущенных часов (с 95 % вероятностью по критерию Пирсона).

Таблица 1. Статистические характеристики основных параметров возмущений, сопутствовавших СТ

Сезон	Время опережения, мин	Продолжительности, мин	Периоды, мин
Зима	88.9 ± 2.0	57.7 ± 3.6	11.3 ± 0.4
Лето	97.2 ± 1.8	55.2 ± 2.3	10.4 ± 0.2

Наблюдаемые эффекты происходили с запаздыванием 200 – 220 мин по отношению к моменту прохождения СТ через МСО в летнее время и 140 – 170 мин в зимнее.

Зная длину магнитной силовой трубки $S \approx 33.6 \cdot 10^3$ км (см., например, [1]) и времена запаздывания возмущений Δt в месте наблюдения по отношению к моменту прохождения МСТ на высоте 100 км, можно оценить скорость v переноса возмущений из МСО. Для летнего времени скорость переноса возмущений $v = 2.5 - 2.8$ км/с, для зимнего – $v = 3.2 - 4$ км/с.

Таким образом, в данной работе при помощи магнитометрических измерений впервые обнаружены проявления магнитозвуковых волн, сопутствующих прохождению солнечного терминатора через магнитосопряженную область.

ВЫВОДЫ

1. Проведены исследования реакции геомагнитного поля на прохождение МСТ в летнее и зимнее время года. Установлено, что в большинстве случаев (80 %) наблюдалось изменение характера магнитометрических сигналов (генерация квазипериодических возмущений), сопутствовавшее прохождению терминатора через МСО.

2. Проведенный системный спектральный анализ позволил оценить основные параметры квазипериодических процессов. Период преобладающих колебаний составлял 10 – 12 мин, их продолжительность – 50 – 60 мин и времена опережения – 80 – 100 мин.

3. Наблюдаемые квазипериодические возмущения геомагнитного поля над Харьковом имели амплитуду 1 – 2 нТл и запаздывания $\Delta t = 140 - 160$ мин для летнего времени и $\Delta t = 200 - 230$ мин для зимнего времени относительно прохождения СТ через магнитосопряженную область. Им соответствует характерная скорость переноса волновых возмущений, равная 2.4 – 2.8 км/с и 3.5 – 4 км/с для зимнего и летнего сезонов соответственно. Это означает, что геомагнитные возмущения имеют магнитогидродинамическую природу.

Автор благодарна профессору Л. Ф. Черногору за научное руководство в процессе написания статьи и К. П. Гармашу и С. Г. Леусу за обеспечение непрерывных измерений на магнитометре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альперт Я. Л. Распространение электромагнитных волн и ионосфера. – М: Наука, 1972. – 564 с.
2. Черногор Л. Ф. Современные методы спектрального анализа квазипериодических и волновых процессов в ионосфере: особенности и результаты экспериментов // Геомагнетизм и аэрономия – 2008. – 48, № 5– С. 681 – 702.
3. Черногор Л. Ф., Шамота М. А. Геомагнитные пульсации вблизи г. Харькова, сопровождавшие прохождение солнечного терминатора. Результаты спектрального анализа // Космічна наука і технологія. – 2009. – Т. 15, № 5. – С. 43 – 51.
4. Черногор Л. Ф., Шамота М. А. Геомагнитные пульсации вблизи г. Харькова, сопровождавшие прохождение солнечного терминатора. Результаты статистического анализа // Космічна наука і технологія. – 2009. – Т. 15, № 6. – С. 14 – 19.
5. Afraimovich E. L. First GPS-TEC evidence for the wave structure excited by the solar terminator // Earth Planets Space. – 2008. – Vol. 60 – Pp. 895–900.