

УДК 523.75:550.383

**ФЛУКТУАЦИИ МЕЖПЛАНЕТНОГО И ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЕЙ  
В СВЯЗИ С ПРОТОННЫМИ ВСПЫШКАМИ***Шельтинг Б. Д., Вальчук Т. Е., Фельдштейн Я. И.,  
Обридко В. Н.*

Проведен спектральный анализ колебаний в межпланетном магнитном поле (ММП) и геомагнитном поле (ГМП) до, в период и после солнечных вспышек 3 апреля, 9 июня и 30 октября 1968 г. Показано существование в ММП и ГМП флуктуаций поля с периодами от нескольких минут до десятков минут.

1. Спектр флуктуаций межпланетного магнитного поля (ММП) — важная характеристика межпланетной среды и солнечного ветра. Информация о спектре флуктуаций ММП и его амплитудных характеристиках имеет прямое прогностическое значение, так как ММП непосредственно воздействует на магнитосферу Земли, способствуя возникновению магнитосферных возмущений. Изучению спектра флуктуаций ММП посвящено довольно много работ (см. [1, 2], а также библиографию в них). Показано, что спектральная мощность флуктуаций ММП описывается обратным степенным законом. Флуктуации определяются, по-видимому, распространяющимися альвеновскими и магнитозвуковыми волнами. Однако в этих работах до сих пор мало обсуждался вопрос о характеристиках и природе отдельных локальных всплесков и максимумов в спектре ММП в интервале  $10^{-2}$ – $10^{-3}$  Гц, хотя эти усиления отчетливо видны на спектрах (см. [3]).

Особый интерес представляет изучение спектра неоднородностей ММП в возмущенные периоды. Согласно [4, 5], характер квазипериодических колебаний на Солнце меняется с изменением активности, и это свойство может быть использовано для прогнозирования последующих возмущений. Представляло также интерес сравнить частоты локальных максимумов в спектре ММП с частотами флуктуаций в спектре геомагнитного поля (ГМП) в активные и невозмущенные периоды. В данной работе исследуются спектры межпланетного и геомагнитного полей в различные периоды солнечной активности в целях прогнозирования последующих возмущений.

2. В работе использованы измерения трех компонент ММП, полученные на спутниках «Explorer-33», «Explorer-34» с временным разрешением 5 с и точностью измерений 0,1 нТл [6]. При получении спектров мощности использовались формулы спектрального анализа для дискретной случайной величины. Анализ включал в себя вычисление корреляционных и спектральных функций, являющихся фурье-преобразованием от корреляционных функций. В анализе использовался метод Тьюки [7, 8]. Вычисления, проведенные с исходными данными, будем называть вычислениями по программе  $\alpha$ . Для повышения точности выявления короткопериодных характеристик и уменьшения влияния медленно и плавно меняющегося фона (среднего значения) производилось вычитание из исходных данных скользящего среднего. Вычисления с предварительно обработанными таким образом данными будем называть вычислениями по программе  $\gamma$ . При вычислениях по этой программе резко уменьшается интенсивность длиннопериодных колебаний.

Изучались изменения характера спектра колебаний в ММП и на поверхности Земли в связи с солнечными вспышками. Детальные измерения ММП имелись только для 1968 г. Для этого года высокой солнечной актив-

ности были отобраны мощные вспышки балла  $>2$ , преимущественно изолированные, чтобы иметь возможность проанализировать спектр флуктуаций не только до и во время вспышки, но и при подходе к Земле корпускулярных потоков, связанных с данной вспышкой. Эти корпускулярные потоки могут быть либо в виде энергичных солнечных протонов с энергиями в десятки МэВ, либо в виде облаков солнечной плазмы, несущей относительно сильные магнитные поля. Из отобранных вспышек только для трех имелись достаточно продолжительные непрерывные измерения ММП. Это вспышки 3.IV, 9.VI и 30.X 1968 г. Для вспышек 3.IV и 9.VI использовались данные ИСЗ «Exploger-33», а для вспышки 30.X — данные ИСЗ «Exploger-34», находившихся в солнечном ветре. Для изучаемого интервала частот  $\sim 10^{-2} - 10^{-3}$  Гц вычисления велись с исходными данными с шагом  $\Delta t = 20 - 40$  с.

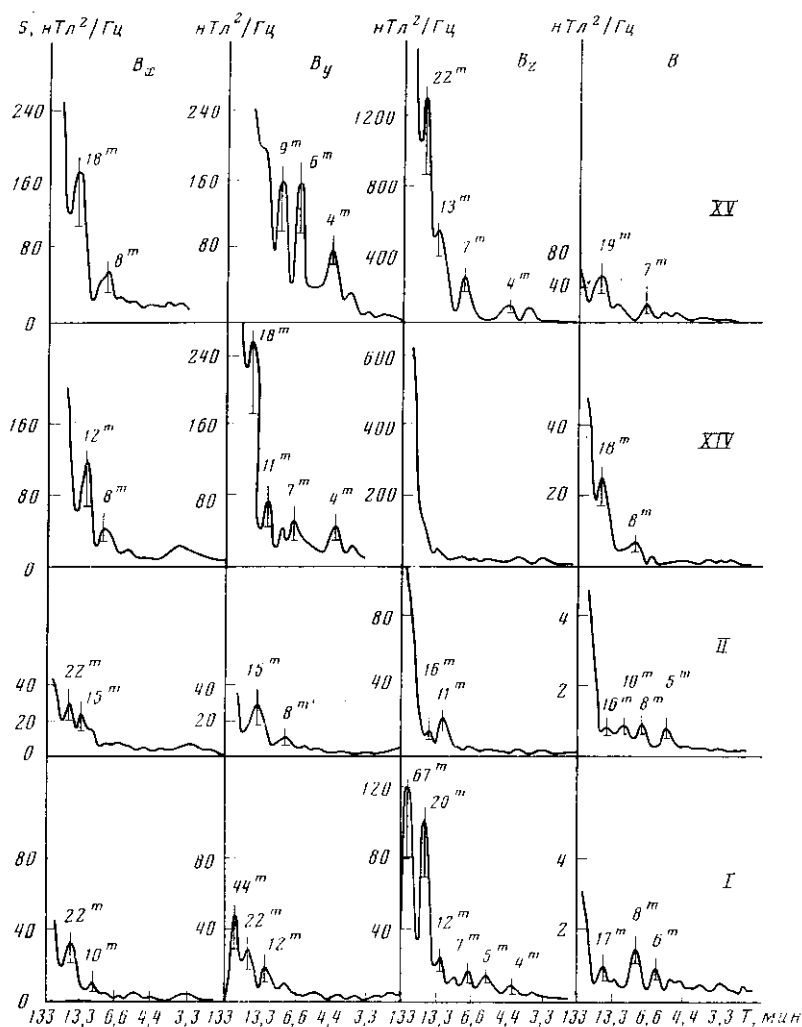
Тот же математический аппарат был применен для анализа флуктуаций  $H$ -составляющей по данным наблюдений за вариациями геомагнитного поля (ГМП) на обсерваториях Боровое ( $\Phi = 48,7^\circ$ ) и Магадан ( $\Phi = 53,5^\circ$ ). Выбор среднеширотных обсерваторий обусловлен удалением их от авроральной зоны, в которой в ночные часы местного времени ежедневно, даже в спокойные периоды, возможны флуктуации геомагнитного поля. Использование в настоящем анализе только  $H$ -компоненты обусловлено, как и в [4, 9], тем, что эта составляющая поля вариаций наиболее изменчива и, следовательно, восприимчива к внешним воздействиям. Магнитограммы с разверткой 90 мм/ч и ценами делений 0,34 нТл/мм в Боровом и 0,38 нТл/мм в Магадане оцифровывались с шагом 0,5 мм, т. е. через каждые 20 с.

Расчеты спектров были проведены для различных временных интервалов в окрестности вспышек: спокойные временные интервалы до вспышки; интервалы, включающие вспышку и следующие непосредственно за вспышкой; интервалы при подходе к Земле корпускулярного потока, совпадающие с геомагнитными возмущениями. Сопоставление спектров позволяет проследить, как меняется характер колебаний ММП и ГМП в разные моменты относительно генерации вспышки на Солнце.

3. *Спектры флуктуаций ММП.* 3.IV 1968 г. на Солнце в 05.45 UT произошла вспышка балла 2. Согласно [10], эта вспышка была классифицирована как изолированная (временной интервал между данной вспышкой и последующей или предыдущей не меньше 2,5 сут). Через  $\sim 1$  ч после регистрации вспышки в  $H_\alpha$  в межпланетной среде вблизи орбиты Земли обнаружены энергичные протоны. Более чем через сутки (5.IV, SC 13.28) началась геомагнитная буря, продолжавшаяся около суток. Это протонное событие и последовавшая за ним геомагнитная буря предполагаются в [10] следствиями вспышки 3.IV.

Изучены спектры мощности для 17 реализаций: первые четыре следуют непосредственно друг за другом реализации по времени занимают целые сутки с 00.17 до 23.59 3.IV; последние четыре реализации также следуют непосредственно друг за другом и занимают целые сутки: с 13.18 5.IV до 13.00 6.IV. Реализация I (00.17–06.19) включает предвспышечный интервал времени 3.IV и время собственно оптической вспышки. Реализация II (06.19–12.15) начинается с момента прихода быстрых частиц в околоземное пространство 3.IV. Реализации XIV–XV (13.18–18.01 реализация XIV и 18.31–00.12 реализация XV) по времени совпадают с приходом в окрестность Земли корпускулярного потока и с началом геомагнитной бури 5.IV. В интервале между этими реализациями исследованы 9 реализаций, включающих 4.IV (целые сутки) и 5.IV (00–12 ч), для анализа ситуаций в солнечном ветре в интервале между оптической вспышкой и началом геомагнитной бури.

На фиг. 1 показаны спектры мощности колебаний всех компонент ММП для реализаций I и II в окрестности и после вспышки 3.IV 1968 г., для реализации XIV и XV, приходящихся на начало бури, по программе  $\gamma$ . По оси абсцисс отложены периоды  $T$  в минутах, по оси ординат — спектральная плотность колебаний поля  $S$  (нТл<sup>2</sup>/Гц). Для основных максимумов указаны 80%-ные доверительные интервалы и значения периодов в минутах.

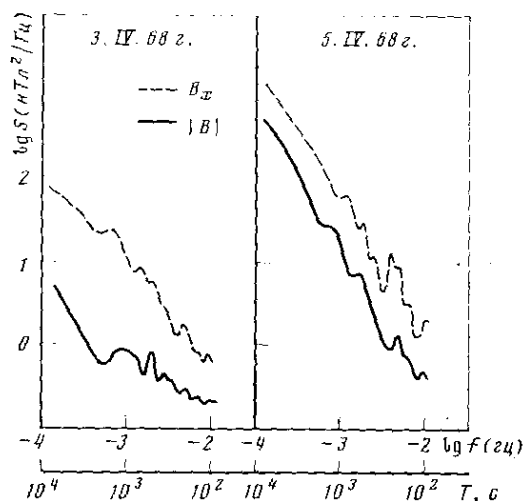


Фиг. 1

Во всех реализациях выделяются колебания с периодами 10–40 мин, причем наиболее отчетливо они проявляются в реализациях XIV–XV 5.IV, приходящихся на время протекания геомагнитной бури. Как правило, колебания отчетливее в спектрах мощности компонент, чем в спектрах модуля магнитного поля. В I реализации, приходящейся на интервал оптической вспышки, спектральная мощность компонент ММП на  $\sim 2$  порядка выше, чем у модуля, на  $T \sim 20$  мин. Наиболее отчетливы колебания с  $T \sim 20$  мин в  $B_z$ -компоненте. Амплитуда колебаний  $\sim 0,2$  нТл. В период прихода энергичных солнечных протонов (II реализация) спектр флуктуаций ММП остается неизменным. Флуктуации резко усиливаются при подходе к Земле корпускулярного потока (реализации XIV и XV). Особенно интенсивны флуктуации поля в реализации XV, когда на Земле развилась довольно интенсивная геомагнитная буря с авроральной активностью  $\sim 2000$  нТл в АЕ в 18–20 UT. Амплитуда флуктуаций в  $B_z$  достигла  $\sim 0,8$  нТл.

9.VI и 30.X 1968 г. были зафиксированы две мощные протонные вспышки балла 4 В. Согласно [10, 11], эти вспышки не являются изолированными, что затрудняет их анализ. Протонные события 9.VI и 30.X определенно связаны с этими вспышками и были довольно сильными (поток протонов  $> 100 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$ ).

Основные периоды в спектрах мощности колебаний ММП для этих вспышек заключены в интервале 15–40 мин, причем интенсивность мак-



Фиг. 2

симумов в спектрах растет от спокойного интервала времени к возмущенному. Колебания сильнее в спектрах мощности компонент поля, чем в спектрах мощности модуля магнитного поля.

Дискретные периоды в спектрах мощности, полученные по программам  $\alpha$  и  $\gamma$ , довольно хорошо совпадают. Из полученных спектров следует, что колебания с периодами  $\sim 3-5$  мин в спектрах мощности ММП не являются основными в отличие от колебаний магнитного поля в солнечных пятнах (см. [12]). Отчетливо выделяются колебания с периодами  $\sim 15-40$  мин, что согласуется с результатами [4]. Однако настаивать на их прямой связи с процессами на Солнце, приводящими к генерации вспышек, оснований нет. Колебания с периодами  $15 \div 40$  мин отчетливо прослеживаются в ММП до вспышки, во время и после нее. Однако на основе проведенного анализа нельзя однозначно утверждать, что колебания с периодами  $\sim 15-40$  мин не являются предвестником вспышки. Это обусловлено тем, что солнечная активность в 1968 г. была очень высокой, ММП сильно возмущено и поэтому не удалось выделить контрольный длительный абсолютно спокойный период до вспышек, когда имелись данные по ММП. Однако усиление квазипериодических колебаний в ММП с такими периодами во время геомагнитных возмущений позволяет утверждать, что они связаны с неоднородностями ММП в корпускулярных потоках, а не являются характерной особенностью предвспышечных солнечных ситуаций.

Мощность колебаний компонент поля всегда значительно выше, чем мощность колебания модуля поля. Это указывает на преобладание альвеновских волн в ансамбле волн, приходящих с солнечным ветром, поскольку в альвеновской волне модуль поля не меняется. К такому же выводу пришел Бурлага [1]. Однако в возмущенные периоды такое соотношение несколько меняется.

Это становится особенно заметным при анализе усредненных характеристик спектра («непрерывный спектр»). На фиг 2 показаны сглаженные ( $\Delta t = 2$  мин) спектры мощности колебаний по программе  $\alpha$   $V_x$ -компоненты ММП и модуля  $B$  ММП для двух реализаций, рассмотренных в связи со вспышкой 3.IV 1968 г.: реализация I — спокойный интервал времени и реализация XIV — начало геомагнитной бури. По оси абсцисс отложены логарифмы частоты ( $\lg f$ , Гц), по оси ординат — логарифмы спектральной плотности колебаний поля. Видно, что мощности колебаний поля резко возрастают от предвспышечного относительно спокойного интервала к послевспышечному возмущенному интервалу, причем для разных компонент этот рост неодинаков. Наиболее значительно увеличение для мощности флуктуаций модуля поля  $B$ . Если в реализациях, соответствующих отно-

нительно спокойным интервалам времени, мощность флуктуаций  $B$  гораздо ниже мощности флуктуаций компонент поля, то в реализациях, соответствующих возмущенным интервалам времени, их мощности примерно одинаковы. По-видимому, к началу геомагнитной бури происходит постепенная трансформация магнитогидродинамических колебаний типа альвеновских волн в более сложные типы волн. Этот результат о сближении мощностей колебаний компонент и модуля ММП в возмущенные периоды не согласуется с выводами [1], согласно которым во время возмущений усиливается относительная роль альвеновских волн. Не согласуются полностью с [1] и характеристики наклопа усредненного спектра. В [1] в спокойный период наклон спектра для  $B$  составляет 1,6, а в возмущенный 1,37. В настоящем анализе наклоны обычно меньше этих величин и составляют последовательно по реализациям 3.IV: 0,7; 0,6; 1,1; 0,7; 5.IV: 1,6; 1,0; 1,2; 1,2; 9.VI: 1,5; 0,5; 0,7; 1,2; 30.X: 1,1; 1,7; 0,7. Таким образом, трудно указать типичный характер изменения наклона спектра при переходе от невозмущенного состояния к возмущенному.

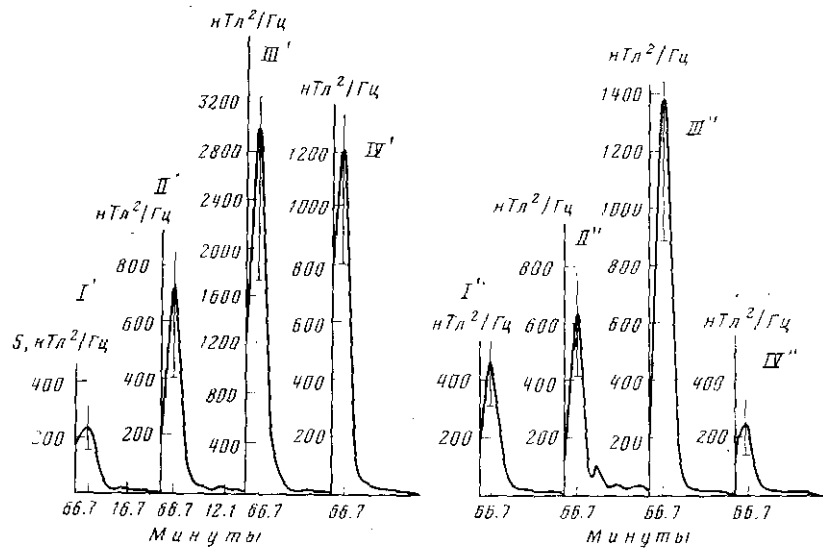
Несовпадение некоторых приведенных выше результатов с полученными в [1], возможно, связано с тем, что в [1] анализируются данные «Magnetic-4» для глубокого минимума солнечной активности с 7.XII 1964 г. по 2.I 1965 г. [13]. По-видимому, в 1968 г. межпланетная среда была в целом более сильно возмущена, и периоды, которые предполагаются спокойными в терминологии работ [11, 13], были скорее возмущенными.

4. *Спектры флуктуаций ГМП.* Спектры ГМП для интервалов до, во время и после солнечной вспышки, полученные по обсерваториям Боровое и Магадан (2–3.IV 1968 г.) и во время геомагнитной бури по обс. Боровое (5.IV 1968 г.), приведены на фиг. 3 и 4.

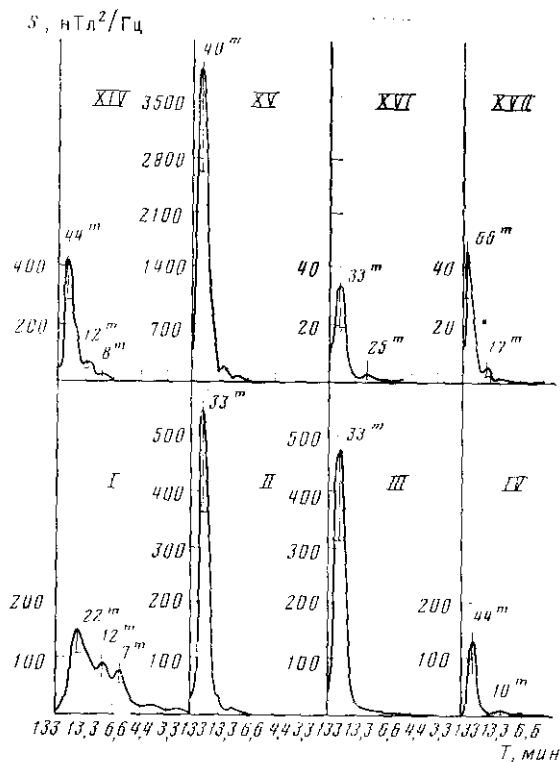
На фиг. 3 изображены спектры за 6-часовые интервалы обс. Боровое 2.IV (I'–IV') и 3.IV (I''–IV''), а на фиг. 4 — спектры за 6-часовые интервалы обс. Магадан за 3.IV (I–IV) и Боровое за 5.IV (XIV–XVII).

Как 3, так и 5.IV 1968 г. флуктуации в  $H$ -компоненте ГМП выражены слабее, чем в компонентах ММП. Если в спектрах ММП локальные максимумы есть уже при расчетах по программе  $\alpha$ , то в спектрах ГМП они, как правило, отсутствуют при расчетах по этой программе. Возможно, колебания с меньшими периодами выражены менее определенно, чем крупномасштабные неоднородности, превышающие длительность реализаций (~5–6 ч). При использовании программы  $\gamma$  в спектрах выявляются локальные максимумы, но сами спектрограммы менее изрезаны, чем в случае ММП.

В обс. Боровое (фиг. 3) до и после вспышки во всех реализациях существует один достоверный максимум с  $T=66,7$  мин. Амплитуда его растет от 0,33 нТл в реализации I' до 0,94 нТл в реализации III' и затем снова уменьшается до 0,31 нТл в реализации IV'. За сутки до вспышки (фиг. II') и через 6 ч после нее (фиг. II'') в спектрах появляются максимумы с  $T \sim 15$  и 20 мин, но достоверность их сомнительна. В обс. Магадан в реализации I (фиг. 4) в ГМП выделяются три максимума, достоверный с  $T=22$  мин. Его амплитуда  $\sim 0,4$  нТл. В реализациях II, III, IV существует только один достоверный максимум с  $T=33$  или 44 мин. Его амплитуда уменьшается от  $\sim 0,6$  нТл в реализации II до  $\sim 0,2$  нТл в реализации IV. Максимумов в спектре с меньшими периодами в послевспышечный период не обнаружено. Из фиг. 3 и 4 можно заключить, что характер изменения спектров в двух обсерваториях одинаков: 2–3.IV как до вспышки, так и после нее в ГМП существовали флуктуации поля с периодами 30–70 мин. Амплитуды этих флуктуаций менее 1 нТл, уменьшаясь до 0,2–0,3 нТл к концу суток 3.IV. Уменьшение амплитуды естественно связать с затуханием общего уровня планетарной возмущенности в этот день. Сравнение спектров I–IV в обс. Боровое и Магадан (фиг. 3 и 4) свидетельствует о существовании интересной особенности. Спектры с тремя максимумами в Магадане приходятся на вспышечный интервал, а в Боровом на 6 ч позднее. Таким образом, использование данных обсерваторий, разнесенных по долготе на  $\Delta\lambda \sim 80^\circ$ , может служить косвенным доказательством того, что причиной появления флуктуаций геомагнитного



Фиг. 3



Фиг. 4

ноля с  $T \sim 20$  мин не могут быть флуктуации рентгеновского и ультрафиолетового излучения Солнца [9]. Солнечное излучение из активной области воздействует на всю освещенную полусферу практически без запаздывания. Поэтому его проявления должны обнаруживаться одновременно на разнесенных по долготе обсерваториях. Запаздывание спектра с максимумом на  $T \sim 20$  мин от Магадана к Боровому на интервал  $\sim 6$  ч свидетельствует больше о контроле данной особенности спектра местным, чем мировым временем.

Спектры XIV–XVII ГМП на фиг. 4 характеризуют флуктуации на obs. Боровое в период интенсивных геомагнитных возмущений, развив-

шихся при подходе к Земле вспышечного потока. До  $\sim 18$  UT 5.IV возмущения были умеренными ( $AE \leq 500$  нТл), затем происходит резкая интенсификация возмущенности до  $AE \sim 2000$  нТл в 18–20 UT. После 20 UT возмущенность уменьшается, но наблюдаются отдельные всплески  $AE$  до  $\sim 500$  нТл. В 07.40 UT 6.IV наблюдался кратковременный всплеск  $AE$  до  $\sim 2000$  нТл и в период реализации XVII возмущенность сохраняется на высоком уровне ( $AE \sim 700-800$  нТл).

В спектрах XIV–XVI ГМП флуктуации характеризуются достоверными максимумами с  $T \sim 33-44$  мин. Амплитуды возрастают от  $\sim 0,5$  нТл в реализации XIV до  $\sim 1,5$  нТл в реализации XV и затем уменьшаются до  $\sim 0,15$  нТл в реализации XVI. Изменения амплитуд флуктуаций следуют за вариациями уровня возмущенности и характеризуют, по-видимому, отклик магнитного поля в средних широтах на возмущения в авроральной зоне. Отсутствие возрастания амплитуды флуктуаций к реализации XVII ( $T \sim 60$  мин,  $\sim 0,15$  нТл) обусловлено локальными эффектами магнитных возмущений. В этот интервал всемирного времени обсерватория Боровое перемещается в дневной сектор и воздействие ночных авроральных возмущений резко ослабевает. Поэтому, хотя интенсивность планетарной возмущенности в авроральной зоне снова возросла, флуктуации поля в дневном секторе средних широт в этот интервал времени находятся на том же уровне, что и в реализации XIV.

К особенностям спектров XIV–XVII ГМП следует отнести отсутствие тонкой структуры, характерной для тех же интервалов в ММП.

9.VI 1968 г. в ГМП обработаны только реализации I, II и III, так как в реализации IV (начало геомагнитной бури) наземная магнитограмма настолько сложна, что трудно поддается обработке. Все три реализации (I – перед оптической вспышкой, II – оптическая вспышка и приход протонов, III – интервал перед геомагнитной бурей) в спектрах ГМП имеют по одному максимуму с  $T \sim 68$  мин и существенно отличаются от спектров ММП.

30.X 1968 г. в ГМП обработаны только реализации I (вспышка) и II (приход протонов); реализация III (геомагнитная буря) не обработана в связи с трудностями в оцифровке магнитограмм. Спектры ГМП похожи на описанные выше для 9.VI, т. е. имеют максимумы с  $T \sim 68$  мин и несколько более короткопериодных (в спектрах ММП преобладают максимумы с  $T \sim 40$  или 20 мин).

Таким образом, анализ спектрограмм ММП и ГМП в интервалы перед и во время вспышки, во время прихода к Земле потоков энергичных солнечных протонов и вспышечного выброса позволяет заключить следующее.

1. Непосредственно перед вспышкой в спектрах ММП существуют квазипериодические колебания с  $T \sim 10-20$  мин. Эти колебания с амплитудой  $\sim 0,2$  нТл характерны для спокойных интервалов. В ГМП квазипериодические колебания с резко выраженными максимумами с  $T \sim 10-20$  мин наблюдаются, но не на всех долготах. За сутки до вспышки существуют длиннопериодные флуктуации с  $T \sim 70$  мин и амплитудой  $\sim 1$  нТл.

2. Через несколько часов после вспышки, когда Земля облучается потоком солнечных космических лучей, спектры ММП такие же, как и до вспышки. Не происходит затухания существующих до вспышки квазипериодических колебаний в ММП. В ГМП преобладают колебания с  $T = 30-70$  мин и с амплитудой до 0,6 нТл. Таким образом спектры колебаний в ММП и ГМП существенно различны. Как правило, такое различие в спектрах сохраняется всегда в спокойные интервалы. Спектры ММП более изрезаны, а на спектрах ГМП имеется практически один максимум.

3. С приходом на орбиту Земли вспышечного корпускулярного выброса в ММП сохраняют квазипериодические флуктуации с  $T \sim 20$  мин, но амплитуды увеличиваются до 0,8 нТл. В ГМП развиваются интенсивные возмущения, резко усиливаются флуктуации поля во всем интервале частот, амплитуда квазипериодических флуктуаций увеличивается до  $\sim 1,5$  нТл.

5. Проведенный спектральный анализ колебаний в ММП и ГМП под-

твердил наличие в магнитных полях колебаний с периодами от нескольких минут до нескольких десятков минут. Однако спектры ММП и ГМП существенно отличаются в этом интервале частот. В ММП наблюдается несколько спектральных максимумов, которые отсутствуют в спектрах ГМП. По-видимому, спектр вариаций геомагнитного поля на поверхности Земли в средних широтах имеет природу, отличную от спектра колебаний ММП. К поверхности Земли не проходит весь богатый спектр колебаний, существующий в межпланетном пространстве. Магнитосфера Земли является естественным фильтром и экраном, предохраняющим поверхность Земли от проникновения к ней длинноволновых колебаний.

Из изложенных данных следует, что в предвспышечные интервалы на поверхности Земли не всегда появляются специфические флуктуации ГМП, которые можно интерпретировать как предвестники солнечных вспышек. Отсутствие таких флуктуаций с амплитудами в 20–50 нТл и периодами  $T \sim 20$  мин, которые в [4, 9] связывались с флуктуациями волнового излучения Солнца, значительно упрощает интерпретацию результатов анализа. Отпадает необходимость в допущении появления перед вспышками интенсивных флуктуаций солнечного волнового излучения.

Действительно, амплитуда  $S_q$ -вариации в горизонтальном векторе на средних широтах (обсерватории Нимег или Москва)  $\Delta F \sim 40$  нТл в летний сезон МГГ [14]. Эта величина несколько меняется в цикле солнечной активности [15]. МГГ был годом необычайно высокой солнечной активности, поэтому в другие интервалы  $\Delta F$  может быть только меньше. Интенсивность  $\Delta F$  в  $S_q$ -вариации тесно связана с плотностью ионизации в области  $E$  ионосферы, и в первом приближении можно полагать линейную связь между  $\Delta F$  и  $N_m$  — максимальной плотностью ионизации в слое  $E$  ионосферы. Появление флуктуаций ГМП с амплитудой  $\sim 20$ –50 нТл должно сопровождаться изменением  $N_m$  от 50 до 120%. Насколько нам известно, в литературе нет указаний на существование таких резких изменений  $N_m$  перед солнечными вспышками.

Следует отметить, что полученное увеличение мощности флуктуаций магнитного поля на поверхности Земли по сравнению с ММП согласуется с результатами, описанными в литературе ([16] и ссылки в ней на спектральный анализ ММП и ГМП). Дополнительное исследование, результаты которого описаны в [17], не подтвердили наличия в геомагнитном поле осцилляций с периодом  $\sim 0.240^h$ , которые в [18] связывались с осцилляциями солнечной атмосферы. Приведенные выше данные не подтвердили возникновения в ГМП осцилляций с периодом  $\sim 20$  мин перед появлением солнечных вспышек, когда наблюдались соответствующие флуктуации радиоизлучения Солнца [4]. Обсуждение этой проблемы проведено в [19].

Авторы благодарят К. Г. Иванова, Ю. Д. Жугжду и Л. И. Мирошниченко за обсуждение работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Burlaga L. F. In: Solar wind / Ed. by Sonett C. P., Coleman P. J., Wilcox J. M. Washington: NASA, 1972, p. 309.
2. Patel V. L., Wiskerchen M. J. J. Geomagn. Geoelectr., 1975, 27, 363.
3. Евдокимова Л. В., Ерошенко Е. Г., Иванов К. Г., Стяжкин В. А. Геомагнетизм и аэрономия, 1979, 19, 555.
4. Быстров М. В., Кобрин М. М., Снегирев С. Д. Геомагнетизм и аэрономия, 1979, 19, 306.
5. Шельтинг Б. Д. Дис. на соискание уч. ст. канд. физ.-мат. наук, М. ИЗМИРАН, 1978.
6. Данные получены через NSSDC RS от д-ра Н. Несса.
7. Blackman R. B., Tukey I. W. The measurement of power spectra from the point of view of Communications Engineering. New York: Dover Books on Mathematics, 1958.
8. Шельтинг Б. Д., Обридо В. И. В кн.: Физика Солнца. М.: Наука, 1979, с. 62.
9. Кобрин М. М., Малыгин В. И., Снегирев С. Д. Геомагнетизм и аэрономия, 1982, 22, 156.
10. Иванов К. Г., Микерина Н. В., Завойкина А. И., Трещеткина В. М. Каталог вспы-



- шечных ситуаций 1966–1974 гг. применительно к межпланетным и магнитосферным возмущениям. М.: ИЗМИРАН, 1979.
11. Catalog of solar particle events 1955–1969 / Ed. by Svestka Z., Simon P. Astrophys. Space Library, 1975.
  12. Могилевский Э. И., Обридко В. Н., Шельтинг Б. Д. Изв. вузов. Радиофизика, 1973, 16, 1357.
  13. Siscoe G. L., Davis L., Coleman P. I., Smith E. J., Jones D. E. J. Geophys. Res., 1968, 73, 61.
  14. Фаткуллин М. Н., Фельдштейн Я. И. Геомагнетизм и аэрономия, 1965, 5, 858.
  15. Фаткуллин М. Н., Фельдштейн Я. И. Геомагнетизм и аэрономия, 1965, 5, 312.
  16. Arthur C. W., McPherron R. L., Lanzerotti L. J., Webb D. C. J. Geophys. Res., 1978, 83, 3859.
  17. Lanzerotti L. J., Maclellan C. G. Nature, 1978, 275, 113.
  18. Toth P. Nature, 1977, 270, 159.
  19. Обридко В. Н., Фельдштейн Я. И., Шельтинг Б. Д., Варфоломеева Н. Г. В кн.: Проблемы космической электродинамики. М.: Наука, 1981, с. 12.

Институт земного магнетизма, ионосферы  
и распространения радиоволн АН СССР

Поступила в редакцию  
25.VII.1983