УДК 550.385.37

ИССЛЕДОВАНИЕ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ СУТОЧНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ АМПЛИТУД ИРРЕГУЛЯРНЫХ ГЕОМАГНИТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ НА АВРОРАЛЬНОЙ И СРЕДНЕШИРОТНОЙ СТАНЦИЯХ

Стерликова И.В.

Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Муром, Россия (602264, Владимирская область, г. Муром, ул. Орловская, 23), e-mail: Oid@mivlgu.ru

В работе представлены экспериментальные результаты исследования суточных изменений амплитуд иррегулярных геомагнитных пульсаций для отдельных частотных полос фильтрации широкополосного сигнала в диапазоне 0,01–0,1 Гц. Геомагнитные пульсации регистрировались непрерывно в течение 12 часов от полуночного до полуденного геомагнитных меридианов. Запись пульсаций пришлась на период сильной магнитной бури в ночь с 12 на 13 октября 1974 г. Синхронные наблюдения геомагнитных пульсаций представлены для двух станций одного геомагнитного меридиана, проходящего через Скандинавский полуостров с геомагнитной долготой 111°. Наблюдательные станции принадлежат авроральным 66° и средним 55° геомагнитным широтам. На авроральной станции ярко выражен утренний максимум 6–7 МГВ и прослеживается в 10 раз слабее максимум в 2–3 МГВ и в 5 раз слабее – предполуденный максимум в 11–12 МГВ. С увеличением частоты на авроральной станции остается только утренний максимум, интенсивность которого меньше, чем в НЧ полосе. В суточном ходе амплитуд среднеширотной станции выявлены несколько энергетических максимумов: утренний 6–7 МГВ, раннеутренний 4–5 МГВ и позднеутренний в 9–10 МГВ примерно одинаковой интенсивности, но более слабой в сравнении с авроральной станцией. Обсуждаются возможные механизмы генерации иррегулярных пульсаций.

Ключевые слова: геомагнитные пульсации, магнитосфера, магнитосферная суббуря.

REAL TIME INVESTIGATIONS OF DAY-NIGH AMPLITUDE DISTRIBUTIONS OF IRREGULAR GEOMAGNETIC PULSATIONS ON AURORAL AND MIDDLE LATITUDE STATIONS

Sterlikova I.V.

Murom Institute (branch) Federal state budgetary Educational Institution of Higher Professional Education « Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nikolay Grigoryevich Stoletovs», Russia(602264), Murom, Vladimir region, Orlovskaya street, 23. E-mail oid@mivlgu.ru

The article gives the results of experimental investigations of amplitude distributions of irregular geomagnetic micropulsations in dependence on local magnetic time for separate frequency bands of filtration of wide-band signal in the range 0,01-0,1 Hz. Geomagnetic micropulsations were registered uninterrupted in 12 hour intervals of observations from midnight up to noon geomagnetic meridians in period strong (powerful) magnetic storm at the night 12-13 october 1974. Sinchronous observations of geomagnetic micropulsations are given in the article for two stations along Scandinavian geomagnetic meridian longitude 111^0. Observation stations are located on auroral 66 ^{0} (Kevo) and middle 55 ^{0} (White Lake) geomagnetic latitudes. Intensive morning maximum at 6-7 MLT, 10 times smaller maximum at 2-3 MLT and 5 times smaller forenoon maximum at 11-12 MLT are distinguished on auroral station in low frequency band. Only morning maximum at 6-7 MLT is distinguished on auroral station in high frequency band, it is less intensive than maximum in low frequency band. 3 energy maximums of equal intensivity: morning maximum at 6-7 MLT, early morning at 4-5 MLT and late morning at 9-10 MLT are distinguished on middle latitude station. The article discusses possible mechanisms of generation of irregular geomagnetic microhulsation.

Key words: geomagnetic pulsations, magnetosphere, magnetospheric substorm.

Введение. Взрывообразные процессы на Солнце приводят к выбросу в межпланетное пространство потоков солнечной плазмы, генерирующих ударную волну. В момент взаимодействия ударной волны и облака плазмы с магнитосферой Земли начинается

магнитная буря, характеризующаяся внезапным сжатием магнитосферы и последующим развитием целого ряда магнитосферных суббурь – взрывообразного выброса в полярную верхнюю атмосферу накопленной энергии. Одной из частных суббурь является суббуря в геомагнитных пульсациях. Иррегулярные геомагнитные пульсации являются своеобразным почерком магнитосферных суббурь, каждая из которых индивидуальна и неповторима [1]. Актуальность исследования свойств геомагнитных пульсаций обязана их информативности о физических процессах в дальнем и ближнем космосе [2; 7], от которых зависит состояние ионосферы и, следовательно, радиосвязь, радионавигация, радиолокация. К настоящему моменту по-прежнему насущными остаются фундаментальные проблемы местонахождения источников пульсаций и их физической природы. Существует мнение [10], что средне- и низкоширотные геомагнитные пульсации Pi2 являются продольными волнами (волнами сжатия, compressional) в отличие от авроральных Pi2 – поперечных стоячих альвеновских волн в магнитосфере Земли. Импульс сжатия связан с торможением потока частиц, направленного из хвоста к Земле.

Цель работы – изучение физической природы среднеширотных и авроральных иррегулярных геомагнитных пульсаций. Задача решается экспериментально методом измерения амплитуд пульсаций наземными станциями и построением суточного хода иррегулярных пульсаций.

Исходный экспериментальный материал. Непрерывные в течение 12 часов записи азимутальной компоненты геомагнитных пульсаций, выполненные на цифровых магнитофонах AKAI (или REVOX) в период мощной магнитной бури в ночь с 12 на 13 октября 1974 г.

Место наблюдений. Исследования выполнены на двух разноширотных наземных станциях, расположенных на геомагнитном меридиане с долготой 111°, проходящем через Скандинавский полуостров. Одна из станций находится на территории Финляндии – станция Kevo. Геомагнитная широта этой станции 66°, что соответствует проекции на земную поверхность геомагнитных силовых линий, в которых в ионосфере развиваются полярные сияния и процессы, соответствующие так называемому авроральному брейкапу. Другая станция находится на территории России в области средних геомагнитных широт 55° – станция Белое озеро (WL).

Обработка экспериментального материала

Первый этап обработки. Записи геомагнитных пульсаций обработаны на специализированном приборе Real Time Spectrum Analyser Оульского университета в Финляндии. Блок-схема установки и методика обработки описаны в [2]. Запись азимутальной

компоненты магнитного поля Земли с регулируемого выхода магнитофона подавалась на четыре из восьми частотных фильтра (730, 960, 1300, 1700 Гц) и записывалась вместе с нефильтрованным сигналом на пятиканальном быстром самописце Fastrecorder. Далее операция повторялась для следующих четырех частотных фильтров (2300, 3000, 3900, 5400 Гц). Процедура фильтрации сигнала производилась для двух скоростей воспроизведения сигнала, т.е. для двух коэффициентов частотной трансформации сигнала. При делении указанной частоты фильтра на коэффициент частотной трансформации получаем центральную частоту фильтра в реальном масштабе времени. Учитывая, что число каналов фильтрации 8, а число коэффициентов трансформации 2, после умножения получим 16 фильтров. Материалы наблюдений иррегулярных геомагнитных пульсаций по существу позволяют построить динамический спектр в реальном масштабе времени.

Второй этап обработки. Построение нормированных спектров.

Амплитудные спектры, полученные на установке – цифровом анализаторе были оцифрованы в НЧ диапазоне (0,01–0,1 Гц) с шагом по частоте 0,0125 Гц, что позволяло получить 29 точек спектра. Другими словами, была произведена ручная фильтрация 29 фильтрами, расположенными на одинаковом частотном промежутке. Измеренные в каждой из 29 точек значения амплитуд были пересчитаны с учетом нормированной амплитудно-частотной характеристики аппаратуры и определено отношение A/A_{max} , где A_{max} – максимальная амплитуда колебаний в НЧ-диапазоне. Данная операция позволила построить нормированные амплитудно-частотные спектры в каждом часовом интервале .

Третий этап обработки. Расчет амплитуды колебаний.

Амплитудные спектры каждого часового интервала были разделены на 9 частотных полос с шагом 0,01 Гц. В каждой из частотных полос рассчитывался интеграл

$$A = \int_{\omega 1}^{\omega 2} S(\omega) d\omega ,$$

где A – амплитуда сигнала, S (ω) – спектральная плотность, $\omega 1, \omega 2$ – граничные частоты.

Результаты

На рисунках представлены распределения во времени амплитуд азимутальной компоненты геомагнитного поля для избранных по выше указанной методике частотных полос из низкочастотного диапазона записей пульсаций 0,01–0,1 Гц на разноширотных станциях одного геомагнитного меридиана. В суточном ходе амплитуд для станции Kevo (рис. 1) ярко выражен во всех частотных полосах один максимум в 6–7 МГВ (2–3 UT), назовем его утренним. С увеличением частоты сигнала его интенсивность уменьшается. Самая высокая амплитуда 114 нТл наблюдается в частотной полосе 0,01–0,02 Гц. Кроме того, в 5–10 раз

слабее по амплитуде наблюдаются еще два максимума: в ранние утренние часы в 2–3 МГВ (22–23 UT) и предполуденный максимум в 11–12 МГВ (7–8 UT). Оба малоинтенсивных максимума наблюдаются только в низкочастотной полосе 0,01–0,02 Гц.

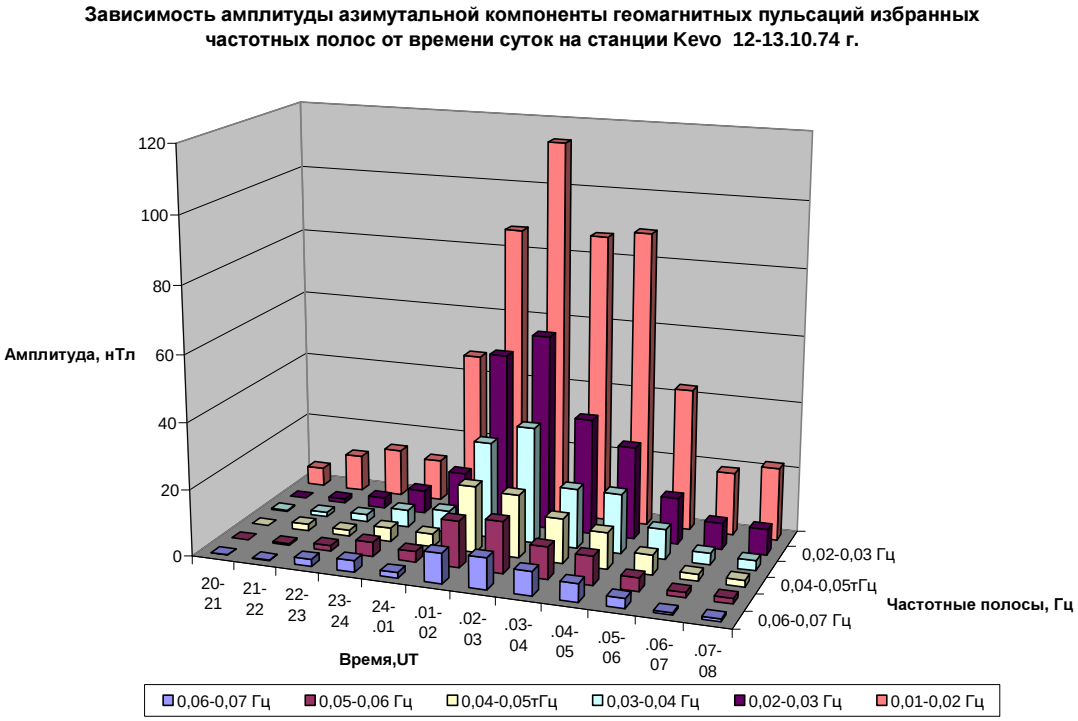

Рис. 1. Зависимость амплитуды азимутальной компоненты геомагнитных пульсаций избранных частотных полос от времени суток на станции Kevo 12–13.10.74 г.

В суточном ходе амплитуд для станции Белое озеро (рис. 2) в частотной полосе 0,01–0,02 Гц (период колебаний 50–100 с) выделяются три энергетических максимума примерно одинаковой интенсивности 16 нТл. Один из них приходится на середину временного интервала, соответствующую линии утро-вечер: 6–7 ч МГВ (2–3 UT), два других – симметричны относительно утреннего максимума: 4–5 ч МГВ (24–1 UT), 8–9 ч МГВ (4–5 UT). Эти три максимума прослеживаются и в других более высокочастотных полосах фильтрации сигнала. Однако интенсивность их меняется. С увеличением частоты (уменьшением периода до 14–17 с) энергия перераспределяется в сторону полуденного меридиана. В суточном распределении амплитуд короткопериодных иррегулярных пульсаций T = 14–17 с остается один ярко выраженный максимум в 8–9 ч МГВ (4–5 UT). Его интенсивность в 2–3 раза выше интенсивности геомагнитных пульсаций того же диапазона периодов в других временных интервалах. Кроме того, в суточном ходе НЧ полосы 0,01–0,02 Гц на среднеширотной станции наблюдается четвертый раннеутренний максимум в 2–3 МГВ с амплитудой 8 нТл. Таким образом, синхронно на авроральной и среднеширотной станциях наблюдаются два

максимума: утренний максимум 6–7 МГВ и раннеутренний 2–3 МГВ. Интенсивность утреннего максимума на авроральной станции в 10 раз выше, чем на среднеширотной. Раннеутренний максимум 2–3 МГВ в частотной полосе 0,01–0,02 Гц на обеих станциях имеет примерно одинаковую амплитуду 8–10 нТл. В других частотных полосах он не выделяется ни на одной, ни на другой станциях.

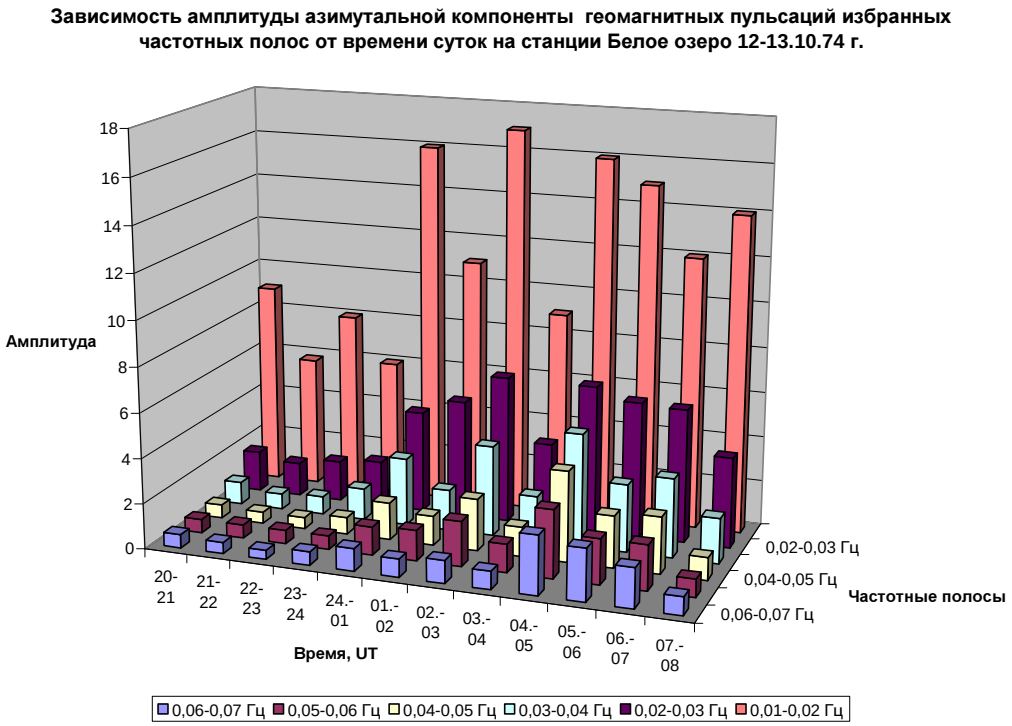

Рис. 2. Зависимость амплитуды азимутальной компоненты геомагнитных пульсаций избранных частотных полос от времени суток на станции Белое озеро 12–13.10.74 г.

Обсуждение. Наличие нескольких энергетических максимумов в области средних геомагнитных широт и перераспределение энергии в направлении к полуденному меридиану с ростом частоты колебаний можно объяснить дрейфом источника иррегулярных пульсаций в азимутальном направлении, что не противоречит работе [10]. Однако нельзя однозначно утверждать, что за их генерацию ответственен тормозной процесс заряженных частиц, пришедших к Земле конкретно из плазменного слоя хвоста. Если учесть, что генерация Pi2 иногда сопровождается красными дугами сияний (свечение кислорода O_1 с длиной волн 630 нм) [9], за которые ответственен дневной овал сияний, то позднеутренний максимум в 8–9 ч МГВ можно объяснить вторжением частиц с дневной стороны Земли через дневной касп (воронку). Интересно отметить, что в эти же часы наблюдается максимум в суточном ходе другого класса пульсаций, отнесенного по международной классификации к устойчивым пульсациям. Тип этого класса пульсации Pc4 имеет тот же частотный диапазон, что и

иррегулярные пульсации Pi2. Исследования суточного хода Pc4 выполнены на сети антарктических станций [8], проектирующихся в область разомкнутых геомагнитных силовых линий, что позволило авторам сделать вывод о возможном проникновении волн в магнитосферу через мантию магнитосферы (магнитопаузу). Полоса периодов 14–17 с относится к иррегулярным пульсациям типа Pi1B, которые накладываются на Pi2, особенно в начале взрывной фазы суббури. Среди Pi1B следует различать два типа пульсаций с различной физической природой: так называемые «наездники Pi2» Pi1B–rPi2 и «наездники PiP» Pi1B–rPiP, основные отличительные признаки которых описаны автором в [3–6]. За генерацию Pi1B–rPiP ответственна полярная электроструя (сияния, движущиеся к полюсу во взрывную фазу суббури). Тот факт, что этот класс пульсаций наблюдается на среднеширотной обсерватории Белое озеро, имеет объяснение – высокая геомагнитная активность, K_p – индекс порядка 7, в этом случае полярные сияния могут наблюдаться в средних и низких широтах. Таким образом, рассматривая иррегулярные геомагнитные пульсации Pi2 как МГД волны в магнитосфере в связанной альвеновской и магнитозвуковой модах, среднеширотные Pi2 можно трактовать как результат конверсии магнитозвуковых волн в альвеновские. Утренний в 6–7 МГВ амплитудный максимум на авроральной станции проектируется в область замкнутых силовых линий, пронизывающих северные доли хвоста магнитосферы. За генерацию этих иррегулярных пульсаций Pi2 могут быть ответственны альвеновские стоячие волны, возбужденные заряженными частицами, пришедшими в магнитосферу с дневной стороны Раннеутренний максимум в 2–3 МГВ, также проектирующийся в область замкнутых магнитных силовых линий, обязан своим появлением стоячим альвеновским волнам, за возбуждение которых могут быть ответственны заряженные частицы, пришедшие из плазменного слоя хвоста магнитосферы в экваториальном направлении.

Вывод. Приведенные результаты в реальном масштабе времени совпадают с результатами, полученными в [6] на большом статистическом материале в периоды с различной геомагнитной активностью и использованием разных методов обработки, что, во-первых, свидетельствует в пользу предлагаемого метода регистрации и обработки геомагнитных пульсаций на цифровой установке, во-вторых, свидетельствует о необходимости дальнейших комплексных исследований различных частных магнитосферных суббурь.

Автор выражает признательность с.н.с. ОИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН Баранскому Л.Н. за любезно предоставленные материалы – спектры, полученные на первом этапе обработки в Финляндии на установке Real Time Spectrum Analyser.

Список литературы

1. Акасофу С.А. Полярные и магнитосферные суббури. – М. : Мир, 1971. – 318 с.

2. Гульельми А.В., Троицкая В.А. Геомагнитные пульсации и диагностика магнитосферы. – М. : Наука, 1973. – 208 с.

3. Стерликова И.В. Метод обработки сигналов диапазона пульсаций геомагнитного поля в реальном масштабе времени // Методы и устройства передачи и обработки информации : межвуз. сб. науч. тр. Вып. 10 / под ред. В.В. Ромашова, В.В. Булкина. – М. : Радиотехника, 2008. – С. 115-123.

4. Стерликова И.В. Два типа пульсаций Pi1B // Деп. в ВИНИТИ 26.04.1985 г. № 2827. – 24 с.

5. Стерликова И.В. Отличительные признаки геомагнитных пульсаций Pi1B // Геомагнетизм и аэрономия. – 1987. – № 1. – С. 160-162.

6. Стерликова И.В., Иванов А.П. Магнитосферные суббури в геомагнитных пульсациях. – М. : ОИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН, 1997. – 108 с.

7. Троицкая В.А. Короткопериодные возмущения электромагнитного поля Земли // Вопросы изучения переменных электромагнитных полей. – М. : Наука, 1956. – С. 27-61.

8. Чугунова О.М., Пилипенко В.А., Энгебретсон М., Роджер А. Статистические характеристики пространственного распределения Pc3-4 пульсаций на высоких широтах в Антарктике // Геомагнетизм и аэрономия. – 2006. – Т. 46. – № 1. – С. 68-77.

9. Chernous S.A., Fedorova N.I., Loginov G.A., Starkov G.V., Sukhoivanenko Ya., Totunova G.F., Yevlashin L.S., Kaila K.U., Pellinen R.J., Ranta H. Comparative studies on auroral phenomena observed in Kola peninsula and in Finland on December 1-2 and 11 – 12 1977. – Preprint, 1979. – 49 c.

10. Kepko L., Kivelson M., Yumoto K. Flow bursts, braking and Pi2 pulsations // J. Geophys.Res. A. – 2001. – Vol. 106. – № 2. – P. 1903-1915.

Рецензенты

Жизняков А.Л., д.т.н., профессор, зам. директора Муромского института по научной работе, Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых», г. Муром.

Орлов А.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой физики и прикладной математики Муромского института, Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых», г. Муром.