

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОЛОЖЕНИЯ ПЛАЗМОПАУЗЫ ВО ВРЕМЯ СИЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ СУББУРИ ПО ДАННЫМ МЕРИДИОНАЛЬНОЙ ЦЕПОЧКИ СТАНЦИЙ

Ю.А. Копытенко, В.С. Исмагилов, А.Л. Котиков, М.С. Петрищев, П.Е. Терещенко,
А.В. Петленко, Д.Б. Зайцев, Д.Ю. Сарычев (СПбФ ИЗМИРАН, г. Санкт-Петербург,
E-mail: office@izmiran.spb.ru)

Аннотация. В августе-сентябре 2012 г. на территории Карелии была установлена меридиональная цепочка из пяти высокочувствительных трехкомпонентных магнитовариационных станций GI-MTS-1 в диапазоне исправленных геомагнитных широт $\Phi=59.5^{\circ}$ - 62.0° ($L=3.75$ - 4.42 Re). Расстояние между соседними станциями составляло ~ 70 - 90 км. Синхронизация записей вариаций магнитного поля осуществлялась с помощью GPS. Сильная магнитная суббура наблюдалась 05.09.2012 с 01:00 до 04:30 UT. На самой северной станции (Кузема) величина магнитного поля в Н-компоненте составляла ~ 600 нТл. Известно, что регистрируемые на земной поверхности геомагнитные вариации усиливаются в районе проекции плазмопаузы. Поэтому местоположение плазмопаузы на земной поверхности определялось по максимуму интенсивности УНЧ геомагнитных возмущений в диапазоне частот $F=0.001$ - 5 Гц и по знаку разности этих интенсивностей на соседних станциях.

До начала суббуры плазмопауза находилась севернее широты 62° . Установлено, что в течении суббуры плазмопауза неоднократно смещалась на юг и достигла широты $\sim 60^{\circ}$. Наиболее четко положение плазмопаузы отслеживалось по данным горизонтальной Н компоненты. По данным меридиональной цепочки магнитных станций построены ионосферные токи для высоты 100 км. Граница смены направления ионосферных токов хорошо соответствует положению плазмопаузы.

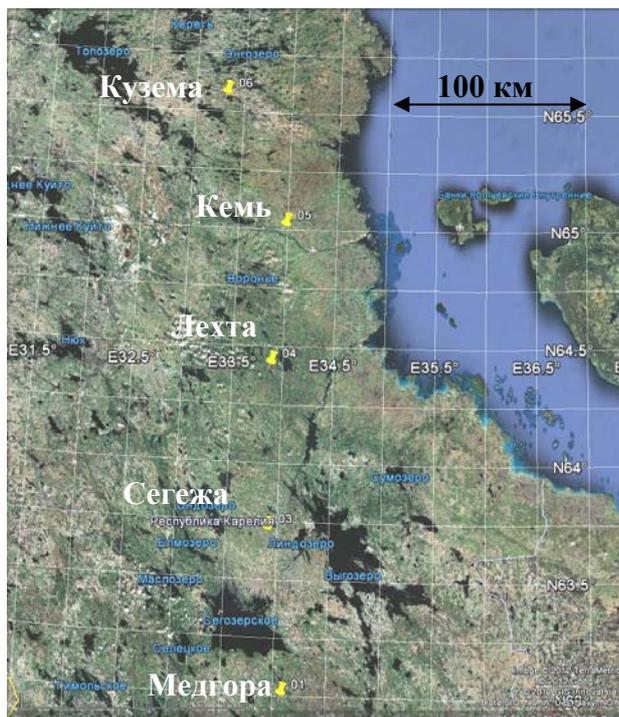


Рис. 1. Расположение магнитовариационных станций в Карелии во время эксперимента

данной работе динамика положения плазмопаузы исследуется в течение сильной магнитной суббуры на более густой меридиональной цепочки станций и для широкого диапазона частот геомагнитных возмущений (0.001 – 5 Гц).

Описание эксперимента

В процессе эксперимента СПбФ ИЗМИРАН в Карелии в 2012 г. были произведены синхронные измерения вариаций магнитного поля Земли 5 трехкомпонентными магнитовариационными станциями GI-MTS-1.

Введение

Исследования геомагнитных вариаций УНЧ диапазона проводятся давно [1], но только после обширных экспериментальных работ, проведенных в период Международного геофизического года (1957-1958 г.), началось их интенсивное изучение. Меридиональные распределения амплитуд и фаз геомагнитных вариаций различных типов были впервые получены по данным эксперимента “Геомагнитный меридиан”, проведенного в 1971 г. [2-5]. В результате проведенных исследований на сети станций вдоль меридионального профиля в субавроральных широтах было обнаружено, что в районе границы плазмосферы (плазмопаузы) амплитуды геомагнитных пульсаций различных типов имеют особенности (максимумы и минимумы амплитуд), причем максимумы наблюдаются несколько севернее проекции плазмопаузы на земную поверхность, а минимумы – южнее [3-5]. Было показано, что используя эти наблюдаемые особенности можно определять положение проекции плазмопаузы на земной поверхности [4,5]. Исследования, посвященные определению положения плазмопаузы, носили, в основном, статистический характер для конкретных типов УНЧ геомагнитных пульсаций (Pc3-5, Pi2). В

Станции были установлены примерно вдоль геомагнитного меридиана, расстояние между станциями составляло 70-90 км. Данные регистрировались с дискретностью 50 Гц. На рис.1 желтыми кнопками показано расположение пунктов регистрации УНЧ ($T=0.2-1000$ сек) геомагнитных возмущений во время эксперимента. Сетка на рис. 1 образует квадраты со стороной 30 км. В таблице 1 представлены географические, исправленные геомагнитные координаты используемых магнитных станций и их параметр $L=1/\cos^2\Phi$.

Таблица 1. Географические, исправленные геомагнитные координаты магнитных станций и их параметр L

№п/п	Название станции	Географические координаты		Исправленная геомагнитная широта Φ (градусы)	Параметр L (Re)
		С.ш.	В.д.		
1	Кузема	65.527°	33.047°	61.6	4.42
2	Кемь	65.02°	34.03°	61.0	4.25
3	Лехта	64.426°	33.972°	60.4	4.1
4	Сегежа	63.682°	33.762°	59.6	3.9
5	Медгора	62.943°	34.123°	58.9	3.75

Исследование динамики местоположения плазмопаузы

Во время эксперимента сильная магнитная суббура (Кр-индекс достигал 6) наблюдалась 05.09.2012 с 01:00 до 04:30 UT. На самой северной станции меридиональной цепочки (Кузема) величина магнитного поля в H компоненте составляла ~ 600 нТл, а в D и Z компонентах достигала 400 нТл. На самой южной станции (Медгора) величина магнитного поля во всех компонентах не превосходила 250 нТл. До начала суббуры Кр индекс составлял 2, а во время суббуры достиг значения 6. Положение (среднестатистическое) плазмопаузы в магнитосфере по формуле Бинзака ($L_{pp} = 6 - 0.6Kp$) менялось от 4.8 до 2.4 Re [2].

На рис. 2 показаны среднеквадратичные значения (левая панель) и разности среднеквадратичных значений H компоненты между парами станций вдоль меридиана (правая панель) для частот геомагнитных возмущений $F=0.2-5$ Гц за период с 23.00 по 07.00 UT 04 - 05.09.2012 г. Разность среднеквадратичных значений определялась путем вычитания среднеквадратичного значения более южной станции от ближайшей северной. Если разность имеет положительное значение, то это означает, что амплитуда геомагнитного возмущения исследуемого диапазона частот на северной станции выше и плазмопауза расположена севернее, если отрицательное, то плазмопауза расположена южнее северной станции в используемой паре станций. Вертикальными линиями отмечены моменты, когда плазмопауза смещалась южнее ст. Кузема. Из рисунка видно, что плазмопауза после начала суббуры сместилась южнее ст. Кузема, затем ее положение очень динамично изменялось.

На рис.3 верхняя кривая является магнитограммой H компоненты магнитного поля на самой северной станции Кузема. Четыре нижние кривые показывают разности среднеквадратичных значений H компоненты между парами станций вдоль меридиана для частот геомагнитных возмущений $F=0.002-0.06$ Гц (верхняя панель) На нижней

панели показаны ионосферные токи на высоте 100 км на меридиональной цепочке станций. Севернее нулевой линии на нижней части рис. 3 ионосферные токи текут на запад, а южнее - на восток.

При построении ионосферных токов предполагается, что отклонение величины магнитного поля Земли от спокойного уровня вдоль меридионального профиля вызвано развитием токов, текущих вдоль исправленной геомагнитной широты на высотах E-слоя ионосферы. Предполагается, что во всем выбранном

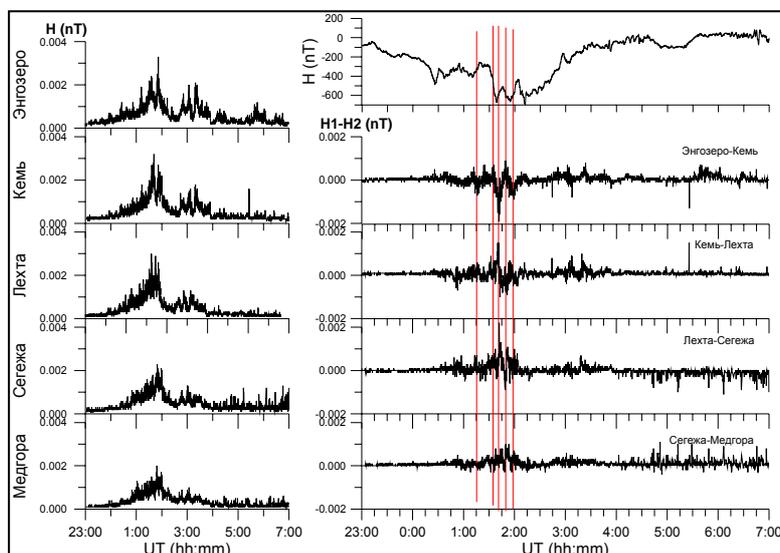


Рис. 2. Среднеквадратичные значения (левая панель) и разности среднеквадратичных значений H компоненты между парами станций вдоль меридиана (правая панель) для частот геомагнитных возмущений $F=0.2-5$ Гц.

интервале широт в ионосфере на фиксированной высоте существует конечный, но достаточно большой набор элементарных токовых нитей западного или восточного направления.

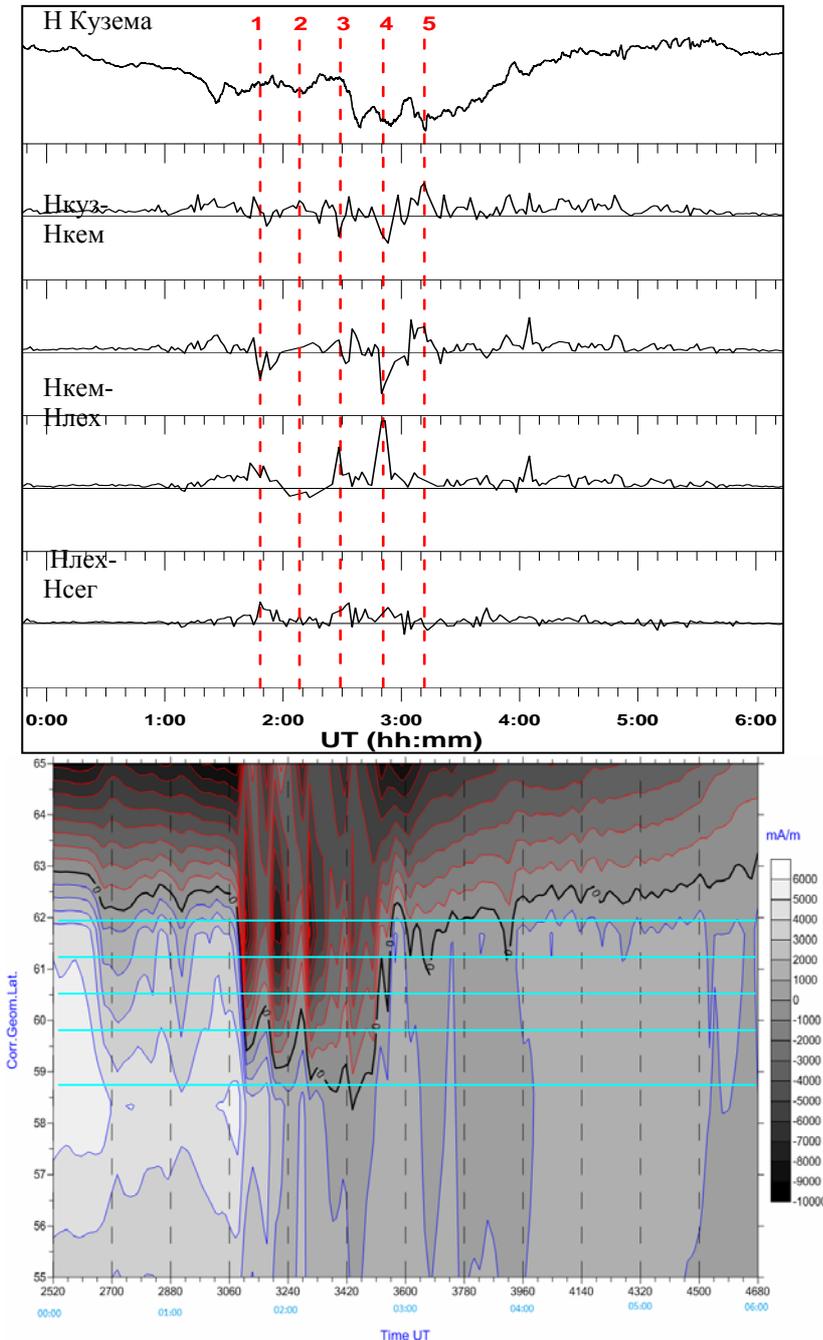


Рис. 3. Разности среднеквадратичных значений N компоненты между парами станций вдоль меридиана для частот геомагнитных возмущений $F=0.002-0.06$ Гц (верхняя панель) и ионосферные токи на меридиональной цепочке (нижняя часть рисунка) 5.09.2012 г.

времени плазмопауза проектировалась на земную поверхность между станциями Лехта и Сегежа и в 5 момент времени плазмопауза опять сместилась на север. На нижней части рис.3 в 01:35 UT граница между токами западного и восточного направления в процессе развития суббури резко сместилась на юг и в 02:30 UT достигла исправленной геомагнитной широты 58.5° . Броски нулевой линии на юг в интервале 01:35-03:30 хорошо соответствуют особенностям в разностях среднеквадратичных значений N компоненты между парами станций вдоль меридиана и хорошо отражают динамику изменения положения плазмопаузы.

При достаточно большом количестве токовых нитей ($N > 50$) мы можем отказаться от заранее заданной модели авроральных электроджетов с фиксированным их количеством или с заданным законом распределения плотности тока в них. Таким образом, имея дискретный набор значений возмущений в горизонтальной и вертикальной составляющих магнитного поля Земли (δN_i и δZ_j) в фиксированных точках вдоль геомагнитного меридиана, мы получим набор токов, равномерно распределенных в выбранном интервале широт. Фактически определяется распределение плотности тока восточно-западного направления над геомагнитным меридианом. При изучении конкретных событий обнаружилось, что западный конвективный электроджет и сам токовый клин могут расщепляться на несколько струй, между которыми ток затухает до нуля или даже могут наблюдаться токи обратного направления [6,7]. Таким образом, фактически определяется распределение плотности тока восточно-западного направления над геомагнитным меридианом.

Горизонтальные линии на нижней части рисунка соответствуют исправленным геомагнитным широтам станций, задействованных в эксперименте. Вертикальные пунктирные линии на рис. 3 (верхняя панель) отмечают 5 моментов времени, когда плазмопауза смещалась южнее станции Кузема. Из рисунка видно, что в момент времени 1 плазмопауза проектировалась на земную поверхность в район станции Лехта, в момент времени 2 плазмопауза сместилась севернее станции Кузема, в 3 и 4 моменты

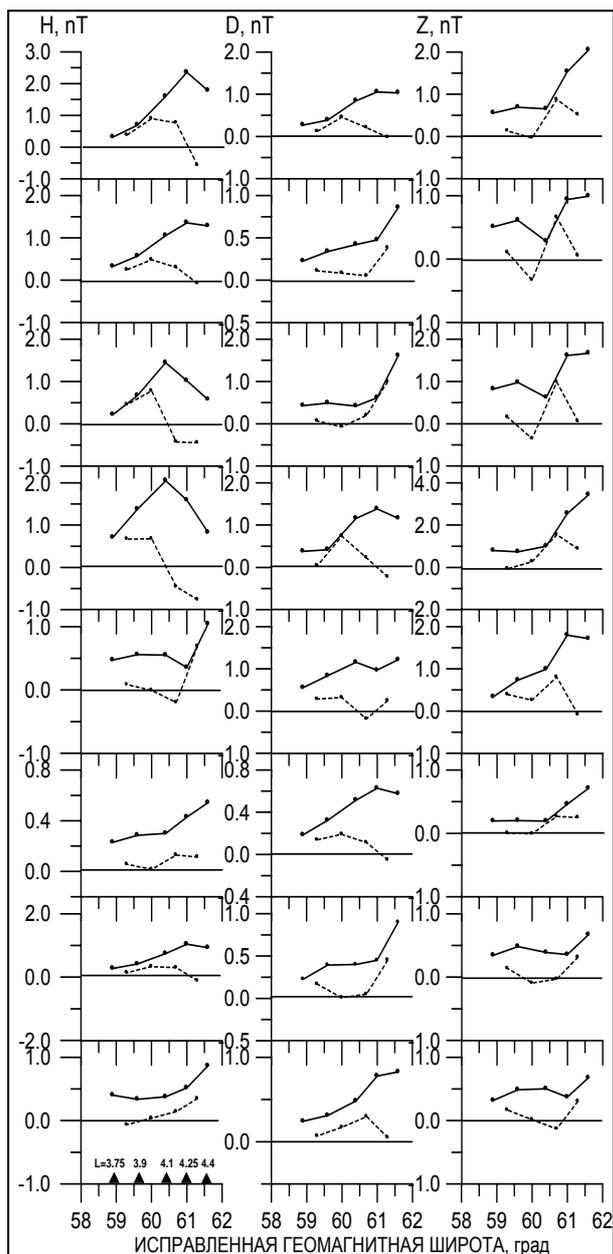


Рис. 4. Среднеквадратичные значения (сплошные линии) и разности среднеквадратичных значений H компоненты между парами станций вдоль меридиана (пунктир) для частот геомагнитных возмущений $F=0.03-0.1$ Гц.

Короткопериодические колебания геомагнитного поля. Л., Изд. Ленингр. Ун-та, 1976, 271с.

3. Распопов О.М., Троицкая В.А., Баранский Л.Н., Беленькая Б.Н., Кошелевский В.К., Афанфьева Л.Г., Роке Дж., Ромбитокоя О. // О свойствах спектров геомагнитных пульсаций типа $Pi2$ вдоль меридионального профиля // Геомагнетизм и Аэронавигация, 1972, т.12, №5, с. 892-896.

4. Копытенко Ю.А., Распопов О.М., Троицкая В.А., Шлиш Р. Некоторые результаты анализа устойчивых геомагнитных пульсаций типа $Pc4$ на сети станций // Геомагнетизм и Аэронавигация, 1972, т.12, №4, с. 720-726.

5. Киселев Б.В., Ковтун А.А., Копытенко Ю.А., Петрова А.А., Распопов О.М. Пространственное распределение геомагнитных пульсаций. // Геомагнетизм и Аэронавигация, 1969, №9, С.1124-1126.

6. Kotikov A.L., Frank-Kamenetsky A.V., Latov Yu.O., Troshichev O.A., Murphree J.S. and Elphinstone R.D., Filamentary structure of the westward electrojet in the midnight sector auroral distribution during substorm: comparison with VIKING auroral observations // J.Atmosph.Terr.Phys., 55, 1763-1774, 1993.

7. Kotikov A.L., U.O. Latov, and O.A. Troshichev, Structure of auroral electrojets by the data from a meridional chain of magnetic stations, Geophysica, 23, pp. 143-154, 1987.

Более подробно изменение положения плазмопаузы в течении 7 минут (2:25-3:31 UT – снизу вверх) представлено на рис.4. На рисунке показаны среднеквадратичные значения (сплошные линии) и разности среднеквадратичных значений H компоненты между парами станций вдоль меридиана (пунктир) для частот геомагнитных возмущений $F=0.03-0.1$ Гц. В нижнем левом углу рисунка треугольниками схематически показано положение магнитных станций вдоль меридиана и L -параметр. Смещение пунктирной линии в область отрицательных значений (ниже нулевой линии) означает появление плазмопаузы на низких широтах. Так, например, в момент времени 2:25 UT 05.09.2012 г. плазмопауза находилась между самой южной парой станций - Медгора и Сегежа. В 2:26 UT она переместилась на север и располагалась между станциями Кузема и Кемь. В 2:28 UT плазмопауза располагалась между станциями Лехта и Кемь. Таким образом, в процессе суббури происходит весьма динамичное изменение геомагнитной широты, на которую проектируется плазмопауза.

Выводы

Исследование УНЧ геомагнитных пульсаций на густой меридиональной цепочке магнитовариационных станций позволяет отслеживать динамику изменения местоположения проекции плазмопаузы во время суббури, используя широкий диапазон частот. Ранее положение плазмопаузы определялось статистически и по конкретным типам геомагнитных пульсаций. Граница смены направления ионосферных токов хорошо соответствует положению плазмопаузы. В дальнейшем планируется выполнить более подробные исследования динамики плазмопаузы на более длительном интервале времени.

Список литературы

1. Троицкая В.А. Короткопериод-ные возмущения электромагнитного поля Земли // В кн.: Вопросы изучения переменных электро-магнитных полей в Земле. М., 1956, с.27-61.

2. Пудовкин М.И., Распопов О.М., Клейменова Н.Г. Возмущения электромагнитного поля Земли. Часть II.