

Ионосферные проявления магнитных пульсаций в периоды нагревных экспериментов на стенде EISCAT/Heating

Т.Д. Борисова, Н.Ф. Благовещенская, А.С. Калишин

ФГБУ «Арктический и антарктический научно исследовательский институт»
(199397, Россия, Санкт-Петербург, ул. Беринга, д.38), тел.8(812)337-3123, e-mail:
borisova@aari.ru

Представлены результаты численных и экспериментальных исследований параметров пульсаций в диапазоне периодов Pc4-5 по данным измерений методом ракурсного рассеяния радиоволн с использованием КВ нагревного стенда EISCAT/Heating (г.Тромсе, Норвегия) и наземных магнитометров сети IMAGE (Скандинавия).

Ionospheric manifestations of magnetic pulsations during heating experiments at the EISCAT/Heating stand

T.D. Borisova, N.F. Blagoveshchenskaya, A.S. Kalishin

*Arctic and Antarctic Research Institute
38, Bering str., St. Petersburg, Russia, 199397*

There are presented experimental and numerical results concerning characteristics of Pc4-5 pulsations using the method of bistatic backscatter of radio waves, the EISCAT HF heating facility, and ground- based magnetometers.

Геомагнитные пульсации диапазона Pc4-5 (45-150, 150-600) с являются распространенными видами колебаний, регистрируемых на земной поверхности. Возбуждение этих видов геомагнитных пульсаций наблюдается от приэкваториальных областей до полярной шапки и характерно для магнитоспокойных условий. В магнитосфере на спутниках геомагнитные пульсации диапазона Pc3-4 наблюдаются регулярно. Преобладающими являются магнитозвуковые волны, однако на L~ 6-7 в магнитоспокойное время наблюдается также появление волн альвеновского типа. колебания диапазона Pc3-4 в высоких широтах, по-видимому, являются результатом проникновения волн внемагнитосферного происхождения из турбулентного переходного погранслоя. Пульсации Pc5 от других типов устойчивых пульсаций отличаются не только большими периодами (150-600 с, f~1.5-6.0 мГц) и огромными амплитудами, но и четкой связью с развитием суббури [1, 2].

Исследования параметров пульсаций проводятся по данным наземных магнитных наблюдений, и непосредственно на высотах ионосферы (спутники, радары). Использование КВ нагревных комплексов и метода ракурсного (или обратного) рассеяния диагностических КВ радиосигналов на мелкомасштабных искусственных ионосферных неоднородностях (МИИН) также позволяет исследовать характеристики волновых возмущений в ионосфере [3, 4].

Технические средства и методы наблюдений. Экспериментальные наблюдения 3 октября 2006 г. выполнялись методом ракурсного рассеяния диагностических КВ сигналов на МИИН. Генерация МИИН производилась нагревным КВ комплексом

EISCAT/Heating (Норвегия, г.Тромсе географические координаты 69.6° N, 19.2° E, L = 6.2). Мощная КВ радиоволна о-моды поляризации излучалась на частоте $f_H = 4040$ кГц с 10:00 до 10:13:30 UT и с 10:15 до 10:20 UT (время мировое). Излучение проводилось в направлении, близком к ориентации магнитного поля Земли. Размер искусственно возмущенной области ионосферы ИВО на высотах F2 слоя соответствовал 100 км. Эффективная мощность излучения составляла $P_{эфф} = 190-210$ МВт.

Прием диагностических КВ сигналов, рассеянных на МИИН, происходил методом ракурсного рассеяния на обсерватории ААНИИ «Горьковская», расположенной в 70 км от г. С.-Петербург и 1200 км от г.Тромсе. Измерения выполнялись одновременно на двух диагностических трассах: Лондон – Тромсе – С.-Петербург, рабочая частота $f_{диагн} = 17640$ кГц и Пори (Финляндия) – Тромсе – С.-Петербург, $f_{диагн} = 11750$ кГц. Карта, поясняющая взаимное расположение диагностических трасс и нагревного комплекса EISCAT/Heating, приведена на рисунке 1. Для регистрации ракурсно-рассеянных КВ сигналов использовался многоканальный КВ доплеровский комплекс, установленный на обсерватории «Горьковская» [4]. Диаграмма направленности приемной антенны ориентирована на Тромсе.

Анализ выполнен по данным наземных наблюдений магнитного поля Земли магнитометрами IMAGE сети Скандинавии (станции: Тромсе, аббревиатура – TRO; Анденес, AND и Кево, KEV, <http://www.space.fmi.fi/image/>), по данным станции вертикального зондирования ВЗ ионосферы в г.Тромсе, результатам измерений на спутнике ACE параметров межпланетного магнитного поля ММП и солнечного ветра СВ, с использованием данных численных расчетов.

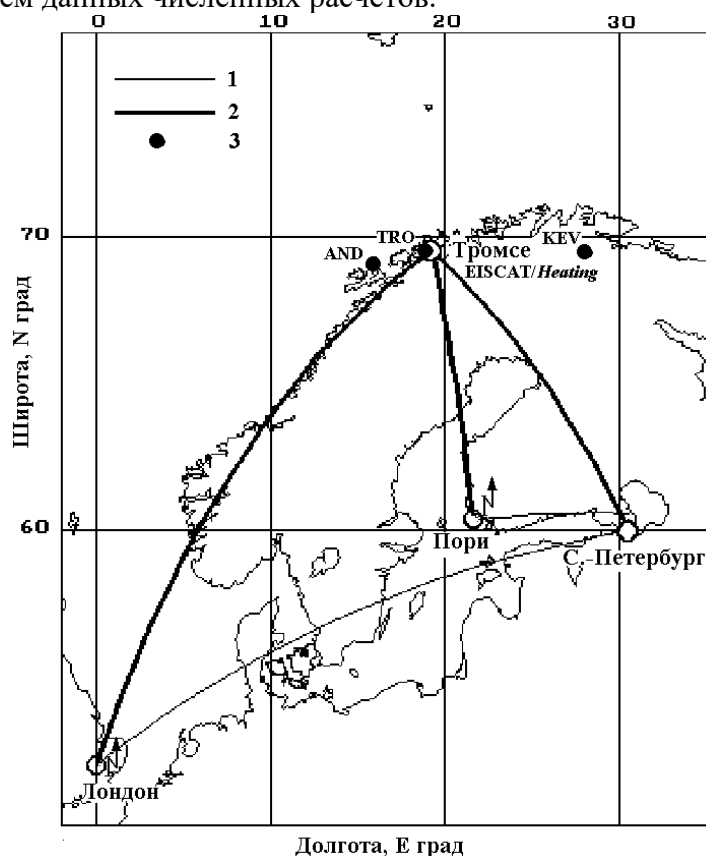


Рис.1. Карта – схема геометрии эксперимента 3 октября 2006 г. 1 – трасса прямого распространения КВ сигнала, 2 – трасса ракурсного рассеяния, 3 – наземные магнитометры.

Результаты экспериментальных наблюдений. Уровень солнечной активности в период эксперимента был низким: число Вольфа 3 октября 2006 соответствовало $W=23$, среднемесячное значение $W=18$. Трехчасовой индекс магнитной возмущенности K_p имел значение $K_p = 2-$, сумма K_p -индексов за сутки составила $\Sigma K_p = 14+$.

По данным станции ВЗ ионосферы, расположенной вблизи EISCAT/Heating с 10:00 до 10:30 UT наблюдался ионосферный слой F2 с критическими частотами $foF2 \sim 4.1$ МГц.

Рис.2а и 2б демонстрируют динамические доплеровские спектры (сонограммы), зарегистрированные на НИС "Горьковская" на трассах Лондон – Тромсе – С.-Петербург, $f_{\text{диагн}} = 17640$ кГц, и Пори – Тромсе – С.-Петербург, $f_{\text{диагн}} = 11750$ кГц, 3 октября 2006г. в период 09:58–10:22 UT. Нулевое значение сдвига доплеровской частоты $f_D = 0$ соответствует распространению диагностических сигналов от передатчика до приемника по дуге большого круга («прямой» сигнал). Периоды излучения передатчика комплекса EISCAT/Heating на интервалах 10:00–10:13:30 и 10:15–10:20 UT отмечены скобками на оси времени. Анализ данных (рис.2а и 2б), показывает, что в циклах излучения нагревного стенда на обеих радиотрассах наблюдались интенсивные сигналы, рассеянные от МИИН, которые были смещены на доплеровскую частоту f_D относительно прямого сигнала. Значения f_D рассеянных сигналов на сонограммах формируют треки, расположенные в отрицательной области частот относительно $f_D = 0$ на обеих трассах и характеризовались волновыми вариациями f_D . Периоды волновых вариаций f_D составляли 70 – 240 с при максимальной амплитуде волны $(f_{\text{dmax}} - f_{\text{dmin}}) = 2.2 - 2.4$ Гц. В целом наблюдается сходство между вариациями f_D на двух диагностических трассах.

На рис.2в показаны магнитограммы наземных наблюдений на станции TRO для интервала времени с 9:58 до 10:22 UT. Из рис.2в видно, что по данным магнитного поля Земли регистрировались волновые процессы квазисинусоидальной формы с периодами от 60 до 270 с для X-, и Y- компонент магнитного поля Земли с амплитудой 1-3 нТ. В целом наблюдается соответствие изменения во времени параметров $|f_D|$ и Y компоненты. С помощью пакета MATLAB данные составляющих магнитного поля Земли были пропущены через широкополосный фильтр Чебышева 1 типа с частотной полосой 2.8 – 15.5 мГц (периоды 65 – 360 с), 3.3 – 5 мГц (200 – 300 с) и 5 – 8.3 мГц (120 – 200с). В результате применения Фурье анализа рассчитаны динамические спектры в скользящем окне ~ 12 мин (72 точки) для X- и Y- компонент магнитного поля Земли и выделены периоды геомагнитных пульсаций в X- и в Y- компонентах (показаны в Таблице).

По данным ракурсных измерений на двух диагностических радиотрассах определили вектор (амплитуду и направление) скорости V движения МИИН в ИВО ионосферы [5]. В Таблице приведены значения периодов пульсаций, зафиксированные 3 октября 2006 г. с 09:50 до 10:20 UT доплеровскими данным f_D и магнитометрическим измерениям X- и Y- компонент магнитного поля Земли, а также полученные в результате вычислений скорости движений в ионосфере (амплитуды $|V|_{\text{МИИН}}$ и азимута $Az_{\text{МИИН}}$).

Представленные в табл. данные показывают, что наблюдаемые волновые структуры 3 октября 2003 г. во время работы КВ нагревного комплекса EISCAT/Heating с 10:00 до 10:20 UT лежат в диапазоне 80 – 240 с и соответствуют диапазонам пульсаций Pc4 – 5.

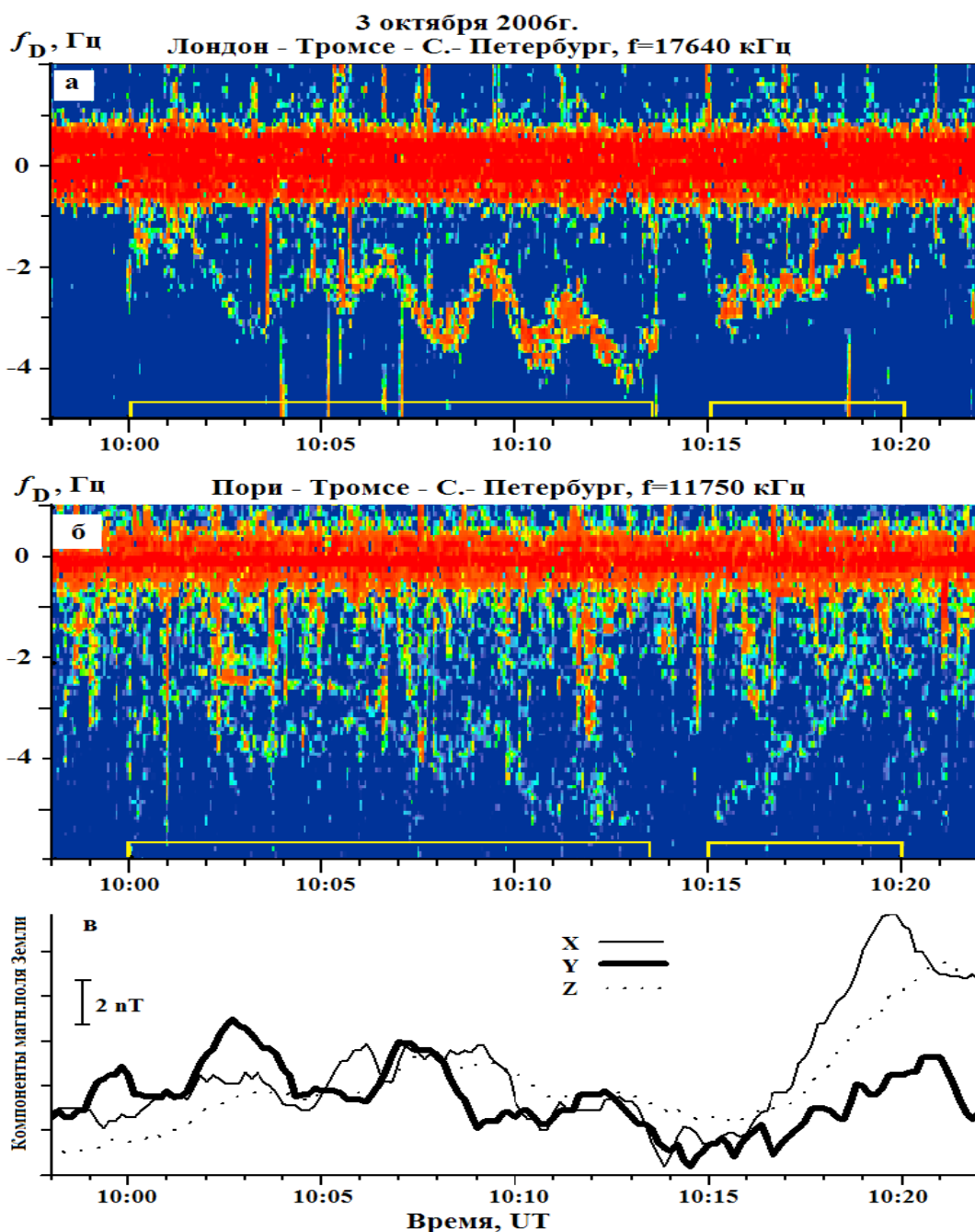


Рис. 2. Сонограммы КВ радиосигналов, зарегистрированные 3 октября 2006 г. на трассах (а) Лондон – Тромсе – С.-Петербург и (б) Пори – Тромсе – С.-Петербург. (в) Вариации X-, Y- и Z- компонент магнитного поля по данным магнитометра г.Тромсе (TRO).

Отметим, что около 9:00 UT наблюдались резкие изменения во времени V_{x-} , V_{y-} , V_{z-} компонент ММП, измеренных на спутнике ACE. В это же время скачком одновременно изменялись параметры СВ: динамическое давление, концентрация протонов N_p , скорость. Граница магнитопаузы на дневной стороне также резко приблизилась к Земле на 1.2 радиуса R_e . В 09:56 UT произошло внезапное увеличение AE индекса с 80 до 400 нТ (началась суббурия). Оценка кинетической задержки наземных наблюдений относительно спутниковых составляла ~ 55-58 мин.

Таблица. Периоды пульсаций Т 3 октября 2006 г. по экспериментальным данным вариаций f_D , результатам расчетов скорости движений в ионосфере (амплитуде $|V|_{\text{мин}}$ и азимуту $Az_{\text{мин}}$), а также по измерениям X- и Y- компонент магнитного поля Земли.

Время, UT	Т, с Наблюдения допл. методом	Т, с результаты расчетов по f_D		Т, с по магнитометрическим измерениям	
		$ V _{\text{мин}}$	$Az_{\text{мин}}$	X компонента	Y компонента
9:50 – 10:00 (без нагрева)	–	–	–	210, 150	240, 150
10:00 – 10:13.5	150, 210, 120	240, 150	150	210, 150	150, 240
10:15 – 10:20	90, 70	70, 90	80	90, 120, 260	90, 160, 250

Результаты выполненных наблюдений свидетельствуют, что с 10:00 до 10:20 UT 3 октября 2006г можно выделить два независимых волнообразных процесса с периодами колебаний $\sim 120 - 150$ с и $210 - 270$ с, лежащими в диапазоне периодов пульсаций Pc4-5.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-17-00020, <https://rscf.ru/project/22-17-00020/>

Литература

1. Гульельми А.В., Троицкая В.А. Геомагнитные пульсации и диагностика магнитосферы. М.: Наука, 208 с. 1973.
2. Клейменова Н. Г. Геомагнитные пульсации. // Модель космоса: Т. 1 : Физические условия в космическом пространстве // ред.: М. И. Панасюк и др. С.611-626. 2007.
3. Yeoman T.K., Wright D.M., Robinson T.R., Davies J.A., Rietveld M. High spatial and temporal resolution observations of an impulse-driven field line resonance in radar backscatter artificially generated with the Tromso heater. // Ann. Geophysicae. V. 15. P.634-644. 1997.
4. Благовещенская Н.Ф. Геофизические эффекты активных воздействий в околоземном космическом пространстве. С. Петербург. Гидрометеоиздат. 288 с. 2001.
5. Борисова Т.Д., Благовещенская Н.Ф., Корниенко В.А., Риевельд М. Определение вектора скорости ионосферных неоднородностей по данным доплеровских измерений в искусственно модифицированной F области полярной ионосферы // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 47. №1. С. 76-84. 2007.