

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ПУЛЬСИРУЮЩИХ АВРОРАЛЬНЫХ ПЯТЕН И ИХ СВЯЗЬ С ОНЧ ИЗЛУЧЕНИЯМИ ТИПА ХОРОВ

**Ю.П.НОВИКОВ, А.А.МИРОНОВ, Е.Е.ТИТОВА, Т.А.ЯХНИНА,
В.Р.ТАГИРОВ, С.А.ЧЕРНОУС, В.И.САЛИН, Ю.МАННИНЕН,
Т.ТУРУНЕН**

Научно-исследовательский институт физики Санкт-Петербургского
государственного университета, Россия
Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Россия
Государственный оптический институт, Россия
Университет Оулу, Финляндия
Обсерватория Соданкюля, Финляндия

По данным одновременных телевизионных наблюдений пульсирующих авроральных пятен и ОНЧ излучений показано, что пульсирующие авроральные пятна, связанные с всплесками ОНЧ хоров, смещаются (расширяются) преимущественно в восточном направлении на расстояния 20 - 100 км со скоростью на порядок превосходящей дрейфовую в магнитосферном электрическом поле.

1. В возмущенных условиях ночная полярная ионосфера является своеобразным телевизионным экраном, на котором в полярных сияниях отображается картина нестационарных динамических процессов, протекающих в магнитосфере [1]. Применение высокочувствительных телевизионных систем дает возможность по оптическим излучениям верхней атмосферы исследовать пространственно-временную динамику вторгающихся энергичных частиц, связанную с перестройкой структурных образований магнитосферы. Одним из таких объектов исследования являются пульсирующие авроральные пятна, появляющиеся на восстановительной фазе суббури в утреннем секторе вблизи экваториальной границы аврорального овала [2]. Использование телевизионных наблюдений позволяет точно локализовать области высыпания энергичных частиц с высоким пространственно-временным разрешением, что существенно для определения пространственных размеров областей взаимодействия волна-частица и определения электрических полей.

В настоящей работе рассматривается пространственно-временная динамика пульсирующих авроральных пятен, связанных с появлением ОНЧ хоров. Для анализа были взяты отдельные изолированные события, имеющие достаточную интенсивность свечения и позволяющие детально исследовать динамику пятна с помощью созданной системы обработки телевизионного кадра [3].

2. Для исследования пространственно-временных вариаций пульсирующих авроральных сияний и их связи с ОНЧ излучениями осенью 1992 г был проведен сеанс наблюдений на станциях Чупа ($\varphi = 66.3^\circ N$, $\lambda = 33.7^\circ E$).

$L = 4,6$) и Соданкюля ($\varphi = 67.4^{\circ}N, \lambda = 26.7^{\circ}E, L = 5,1$), расположенных вблизи южной границы аврорального овала. На станциях регистрировались ОНЧ излучения в частотном диапазоне 0,3 - 8,0 кГц, вариации магнитного поля в диапазоне периодов $T > 1$ с и проводились одновременные телевизионные наблюдения полярных сияний. Проведенный эксперимент показал, что на восстановительной фазе суббури в утреннем секторе появление ОНЧ хоров тесно связано с расширяющимися пульсирующими авроральными пятнами. На рис.1 представлены результаты сопоставления интенсивности

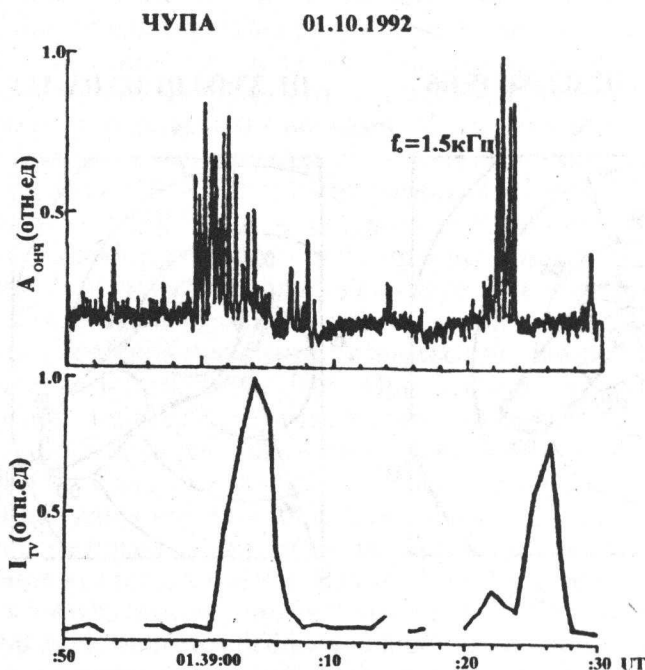


Рис.1 Интенсивность ОНЧ хоров на частоте $f = 1,5$ кГц для интервала времени 01.38:50 - 01.39:30 UT (верхняя кривая). Чупа, о.Средний, Республика Карелия ($\varphi = 66.3^{\circ}N, \lambda = 33.7^{\circ}E, L = 4,6$), 01.10.1992.

Интенсивность свечения пульсирующих авроральных пятен за тот же временной интервал (нижняя кривая).

свечения пульсирующих пятен полярных сияний и ОНЧ излучений, полученных на ст.Чупа 01.10.1992 г после интенсивной суббури ($H \sim 800$ нТ). Из данных спектрального анализа следует, что ОНЧ излучения представляют собой группы хоровых элементов в диапазоне частот $f = 1 - 2$ кГц. В верхней части рис.1 приведены вариации интенсивности ОНЧ излучений типа хоров на частоте $f = 1,5$ кГц для временного интервала 01.38:50 - 01.39:30 UT, всплески интенсивности соответствуют отдельным хоровым элементам. В нижней части рис.1 представлены изменения максимальной интенсивности свечения в области аврорального пятна за тот же промежуток времени. Видно, что появление ОНЧ хоров опережают появление пятна сияний на 0,5 - 1,0 с и интенсивность хоров уменьшается вплоть до исчез-

новения с увеличением интенсивности свечения. Отметим, что волновые пакеты ОНЧ хоров сопровождаются иррегулярными магнитными пульсациями типа Pi1 после сильной магнитной активности и пульсациями типа PiC после слабой и умеренной ($H < 400$ нТ) активности. Анализ последовательностей аналого-цифровых представлений телевизионных кадров [3,4] пульсирующих авроральных пятен, связанных с развитием ОНЧ излучений типа хоров показал, что в течение времени жизни (2 - 8 с) пятна смещаются и расширяются главным образом в восточном направлении.

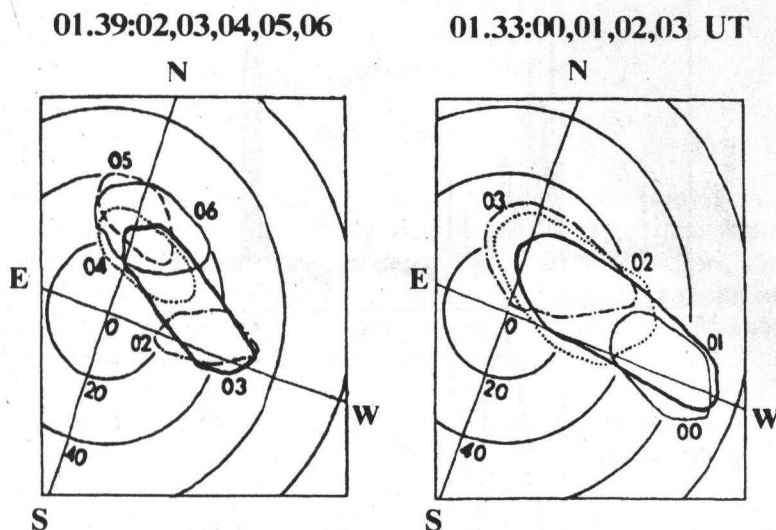


Рис.2 Схематическое представление пространственно-временной динамики авроральных пятен, связанных с появлением ОНЧ хоров. Контурь пятен приведены с временным интервалом в 1 с. Чупа, 01.10.1992

На рис.2 приведено схематическое представление динамики таких авроральных пятен. Пятна смещаются на расстояния 20 - 100 км со скоростью на порядок превосходящей дрейфовую в магнитосферном электрическом поле [5]. Скорости движения (расширения) пятен максимальны в начальной фазе (10 - 100 км/с). Резкое уменьшение скорости движения пятна происходит спустя 1 - 2 с после начала фазы расширения, обычно сопровождающееся уменьшением интенсивности ОНЧ хоров. При этом интенсивность ОНЧ хоров уменьшается с увеличением интенсивности свечения пульсирующего пятна.

3. Одним из общепринятых механизмов, приводящих к высыпанию низкоэнергичных электронов, является развитие циклотронной неустойчивости свистовых волн в экваториальной плоскости магнитосферы

вследствие поперечной анизотропии функции распределения энергичных электронов ($E > 10$ кэВ) [6,7,8] о чем свидетельствует одновременное появление пульсирующих авроральных форм и ОНЧ-КНЧ излучений типа хоров [9]. Однако количество наземных наблюдений однозначного соответствия пульсирующих авроральных пятен и хоров невелико [4,10,11,12], что может быть связано с особенностями распространения низкочастотных электромагнитных волн в магнитосфере и ионосфере Земли [13]. Установленное взаимнооднозначное соответствие вариаций интенсивности свечения пульсирующих авроральных пятен и огибающей ОНЧ излучений так же как и нарушение этого соответствия во время интенсификации сияний [4] говорит о тесной связи области выхода ОНЧ излучений типа хоров в волновод Земля-ионосфера и области пространственной неоднородности электронной плотности, связанной с пульсирующими авроральными пятнами. Имеющиеся квазипериодические решения самосогласованной задачи взаимодействия ОНЧ волн и энергичных электронов в результате развития конусной неустойчивости свистовых волн [14,15], либо в результате автоколебательного режима генерации в модели проточного циклотронного мазера [6,7,8], позволяют объяснить наблюдаемые периоды пульсирующих авроральных пятен в диапазоне 1-20 с. Показано также, что время высвечивания пятна меньше паузы между последовательными импульсами свечения, что обычно регистрируется в эксперименте [16]. При этом длительность импульса свечения пятна примерно соответствует длительности всплеска ОНЧ волн, что подтверждается настоящей работой и ранее полученными результатами [4]. Следует отметить, что вследствие малого коэффициента анизотропии конусная неустойчивость не обеспечивает экспериментально наблюдаемого на поверхности Земли диапазона частот ($f > 1$ кГц) [17].

Опережение всплесков ОНЧ хоров на 0,5 - 1,0 с импульсов свечения согласуется с результатами, полученными в [10]. Интерпретация соответствующих задержек является неоднозначной, что связано с неопределенностью размеров области взаимодействия волн и частиц вдоль магнитной силовой линии, а также с неопределенностью модели среды за плазмопаузой - концентрации фоновой низкоэнергичной плазмы и функции распределения энергичных электронов по энергиям и pitch-углам.

Впервые обнаружено, что появление ОНЧ хоров в утреннем секторе магнитосферы связано с расширяющимися пульсирующими авроральными пятнами. При вспышке пятна сияний область светимости смещается на расстояния 20 - 100 км за 1-2 с. Таким образом горизонтальная скорость движения составляет 10 - 100 км/с и на порядок превосходит дрейфовую скорость движения как под действием крупномасштабного магнитосферного электрического поля, так и вследствие неоднородного магнитного поля магнитосферы. Ранее такие скорости движения отмечались при исследовании пульсирующих пятен сияний безотносительно ОНЧ излучений [18,19]. Расширение (распространение) со "сверхдрейфовой" скоростью может быть связано с распространением уединенного магнитозвукового импульса, образующегося в области генерации ОНЧ хоров вследствие изменения диамагнитного момента плазмы при сбросе энергичных электронов в ионосферу. При этом возмущение распространяется поперек неоднородности фоновой плазмы (дакта) со скоростью магнитного звука.

При поперечных размерах неоднородности в экваториальной плоскости магнитосферы ~ 1000 км, что в проекции на ионосферу соответствует 100 км. время распространения составляет 1 с при плотности фоновой плазмы 50 эл/см^3 на $L=4,6$, что отвечает наблюдаемым значениям частоты ОНЧ хоров $f > 1$ кГц. Таким образом можно предполагать, что область свечения отражает на ионосфере проекцию поперечного сечения реальной магнитосферной неоднородности фоновой плазмы, в которой происходит взаимодействие энергичных электронов и свистовых волн.

Работа частично выполнялась при поддержке программы "Университеты России" - "ГЕОКОСМОС"

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mende S.B., Eather R.H., Aamodt E.K. // Appl. Opt. 1977. V. 16. N 6. P. 1691.
2. Тагиров В.Р., Трахтенгерц В.Ю., Черноус С.А. О природе пульсирующих пятен полярных сияний. 1. Экспериментальные данные. Апатиты.: Препринт ПГИ-85-03-41, КФАН СССР, 1986. 38 с.
3. Зайцев Д.Б., Новиков Ю.П., Тагиров В.Р., Черноус С.А. // Методы и средства вычислительного эксперимента. Апатиты.: КНЦ, 1990. С. 89.
4. Зайцев Д.Б., Новиков Ю.П., Тагиров В.Р., Черноус С.А. // Геомагнетизм и аэрономия. 1994. Т. 34. С. (настоящий сборник).
5. Scourfield M.W.J., Keys J.G., Nielsen E., et al. // J. Geophys. Res. 1983. V. 88. N A10. P. 7983.
6. Трахтенгерц В.Ю., Черноус С.А., Тагиров В.Р. О природе пульсирующих пятен полярных сияний. 2. Теория. Апатиты.: Препринт ПГИ-85-04-42, КФАН СССР, 1986. 35 с.
7. Беспалов П.А., Трахтенгерц В.Ю. Альфвеновские мазеры. Горький.: АН СССР ИПФ, 1986. 190 с.
8. Trakhtengerts V. Yu // Proc. Intern. Conf. on Substorms (ICS-1), Kiruna, Sweden, 23-27 March 1992. P. 463.
9. Распопов О.М., Клейменова Н.Г. Возмущения электромагнитного поля Земли. Ч. 3. Л.: Изд. ЛГУ, 1977. 144 с.
10. Helliwell R.A., Mende S.B., Doolittle J.H. et al. // J. Geophys. Res. 1980. V. 85. N A7. P. 3376.
11. Tsuruda K., Machida S., Oguti T., et al. // Can. J. Phys. 1981. V. 59. N 8. P. 1042.
12. Hansen H.J., Scourfield M.W.J. // J. Geophys. Res. 1990. V. 95. N A1. P. 233.
13. Мальцева О.А., Молчанов О.А. Распространение низкочастотных волн в магнитосфере Земли. Москва.: Наука, 1987. 118 с.
14. Davidson G.T. // J. Geophys. Res. 1986. V. 91. N A4. P. 4413.
15. Davidson G.T. // J. Geophys. Res. 1986. V. 91. N A4. P. 4429.
16. Yamamoto T. // Mem. Natl. Inst. Polar Res., 1983. Spec. Issue. N 26. P. 124.
17. Huang L., Hawkins J.G., Lee L.C. // J. Geophys. Res. 1990. V. 95. N A4. P. 3893.
18. Scourfield M.W.J., Parsons N.R. // J. Geophys. Res. 1971. V. 76. N 19. P. 4518.
19. Yamamoto T., Oguti T. // J. Geophys. Res. 1982. V. 87. N A9. P. 7603.