

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ В СПЕКТРЕ ФОНОВОГО НИЗКОЧАСТОТНОГО ШУМА НА СРЕДНИХ ШИРОТАХ

Е.Н. Ермакова¹, С.В. Поляков¹, Н.В. Семенова²

1. Научно-исследовательский радиофизический институт, 603950, Нижний Новгород, Россия

2. Полярный геофизический институт, 184209, Апатиты, Россия

Аннотация. По данным непрерывного мониторинга низкочастотного фонового шума на станции «Новая Жизнь» (Нижегородская область, Россия) за 2006-2010 г.г. исследована новая спектральная структура, проявляющаяся в квазигармонических осцилляциях интенсивности шума с частотными масштабами в 3-4 раза меньшими, чем масштабы традиционной резонансной структуры РСС. Исследованы особенности тонкой структуры спектра: частота появления, ее суточная динамика, ширина частотного диапазона, в котором наблюдалось это явление. По расчетам тангенциальных магнитных полей, распространяющихся в сферическом горизонтально-неоднородном волноводе земля-ионосфера, выполнен анализ возможного влияния нелокальных свойств ионосферы на спектры низкочастотных полей (0.1-20 Гц). Показано, что влияние нелокальных свойств ионосферы на КНЧ спектры может проявиться при наличии горизонтальной неоднородности ионосферы, обусловленной разным характером профилей ионосферных параметров вдоль трассы распространения радиоволн.

1. Введение

Хорошо известно, что на спектры КНЧ магнитного шума оказывают влияние неоднородные ионосферные структуры, расположенные на высотах 80-1000 км (ионосферный альвеновский резонатор – ИАР) и на высотах 80 — 300 км (суб-ИАР). Влияние этих резонаторов приводит к появлению резонансной структуры спектра (РСС) и широкополосного спектрального максимума (ШСМ), которые впервые были обнаружены на среднеширотном пункте «Новая Жизнь» (55,97° с.ш., 45,74° в.д.) [1,2]. РСС проявляется в гармонической модуляции спектров параметров приземного магнитного шума, однако может иметь и более сложный характер [3]. Сложный характер спектров фонового магнитного шума на средних широтах связан и с обнаруженной недавно тонкой структурой, которая проявляется в осцилляциях с частотными масштабами в 3-4 раза меньшими, чем масштабы традиционной РСС [4]. Впервые тонкая структура спектра была обнаружена на о. Крит, Греция (35.15° с.ш., 25.20° в.д.) и считалась особенностью спектров магнитного шума именно на этих широтах [5]. Настоящая работа посвящена исследованию морфологических свойств тонкой структуры спектра на средних широтах в период минимума солнечной активности и в период выхода из минимума (таким переходным периодом явился 2010 г.)

На данный момент не существует адекватного механизма, объясняющего формирование тонкой структуры спектра в фоновом шуме на средних широтах. Поскольку появление осцилляций с малыми периодами не связано с влиянием локального ионосферного альвеновского резонатора, в работе представлены результаты исследований возможного влияния нелокальной ионосферы на спектры магнитного шума. В данной статье для расчетов будут использованы результаты решения задачи о возбуждении сферического горизонтально-неоднородного волновода земля – ионосфера источником типа вертикальный электрический диполь [6] и применена методика расчета поверхностного импеданса анизотропной и неоднородной ионосферы, развитая в [7].

2. Экспериментальные данные

В работе приводятся результаты обработки данных по регистрации тангенциальных компонент магнитного фонового шума H_{CY} и H_{BZ} в среднеширотном пункте «Новая Жизнь» (NL), Нижегородская область, Россия. Обработка заключалась в построении спектров на временном интервале 10 сек. с последующим усреднением 80-100 спектральных реализаций, что соответствует усреднению по 15-20 мин. Анализ данных за период 2006-2010 г.г. позволил исследовать основные морфологические свойства тонкой структуры спектра. Был выполнен статистический анализ вероятности появления этого явления на средних широтах. Обнаружено, что вероятность максимальна в осеннее - весенний период в годы минимума солнечной активности и достигает значений 25-30% в апреле и октябре (нижняя правая панель на Рис 1). Вероятность появления тонкой структуры спектра на среднеширотном пункте «Новая Жизнь», Нижегородская область построена за период 2007-2009 г.г. Считалось, что тонкая структура существовала, если в спектре магнитных компонент фонового шума наблюдалось не менее 3 осцилляций с частотными масштабами в 3-4 раза меньшими, чем периоды традиционной резонансной структуры. В другие сезоны частота появления тонкой структуры не превышала 10-15%. Основные особенности этого явления продемонстрированы на Рис.1 (верхняя и нижняя левая панель).

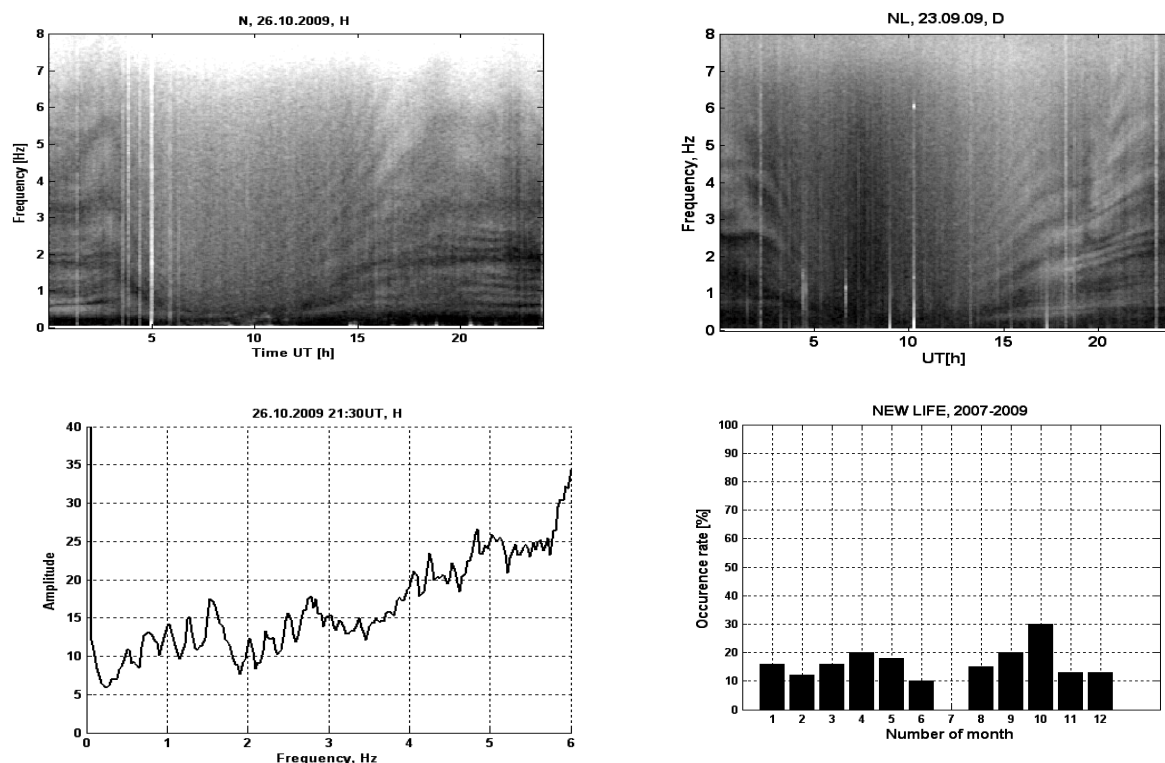


Рис. 1 Примеры тонких структур в спектре магнитных компонент, наблюдаемых в приемном пункте «Новая Жизнь». Н – магнитная компонента в направлении С-Ю.

Обнаружено, что частотный интервал, в котором регистрируются осцилляции с периодами 0.2-0.3 Гц не превышает (3-4) Гц и существенно меньше, чем область частот, в которой обнаруживается традиционная РСС с периодами 1.2 - 2 Гц. Тонкая структура возникает в спектрах магнитных компонент шума только в темное время суток, как правило, через 3-5 часов после захода солнца.

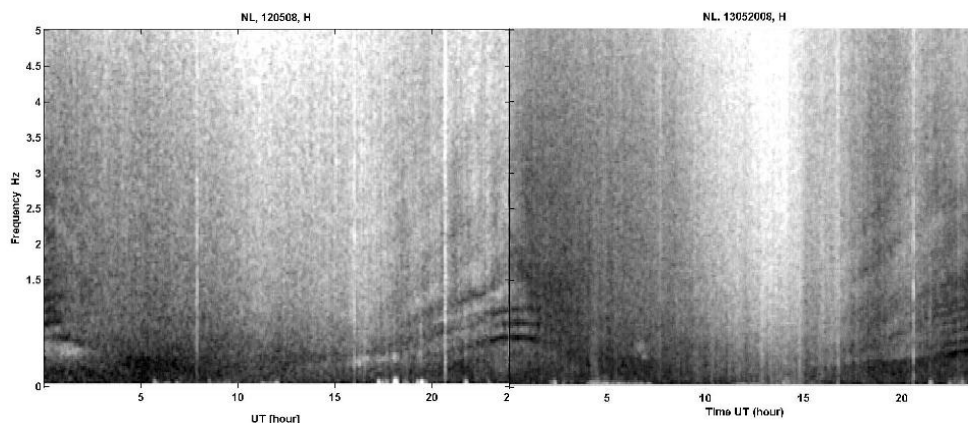


Рис. 2 Спектры тонкой структуры, демонстрирующие время возникновения и длительность существования тонкой структуры в «Новой Жизни», 12-13.05.08

Наиболее ярко осцилляции с малыми масштабами проявлялись только в одной из магнитных компонент, при этом в другой компоненте часто регистрировалась РСС с неэквидистантным характером (Рис.3, слева). В год выхода солнечной активности из минимума (2010 г.) произошло резкое уменьшение частоты появления тонкой структуры и уже с апреля месяца ярко выраженные осцилляции с малыми масштабами не обнаруживались в магнитном шуме. Одновременно с этим традиционная РСС приобрела характер правильных осцилляций (Рис 3, справа).

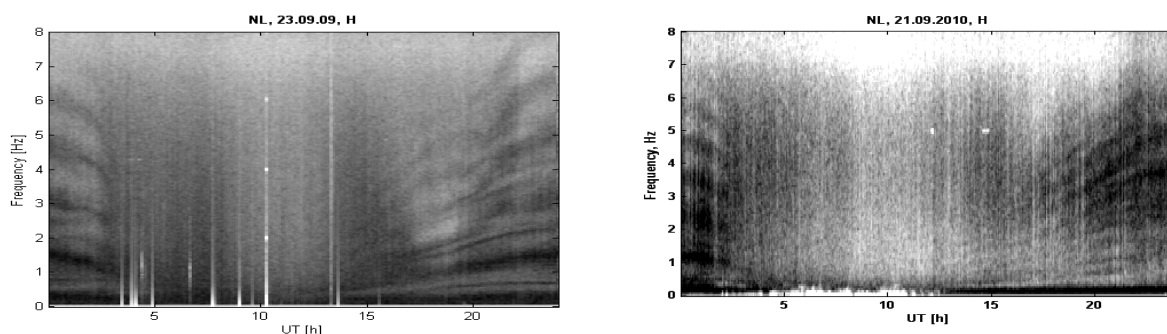


Рис. 3 Типичные спектрограммы РСС в периоды разного уровня солнечной активности: 09.2009 – число солнечных пятен $R_{12} \approx 0$; 09.2010 – $R_{12} \approx 10$.

При анализе одновременных записей в приемном пункте и Ловозеро (приемный пункт ПГИ, 68° с.ш., 35° в.д.) при спокойной геомагнитной обстановке тонкая структура была зарегистрирована только на станции «Новая Жизнь», Рис.4.

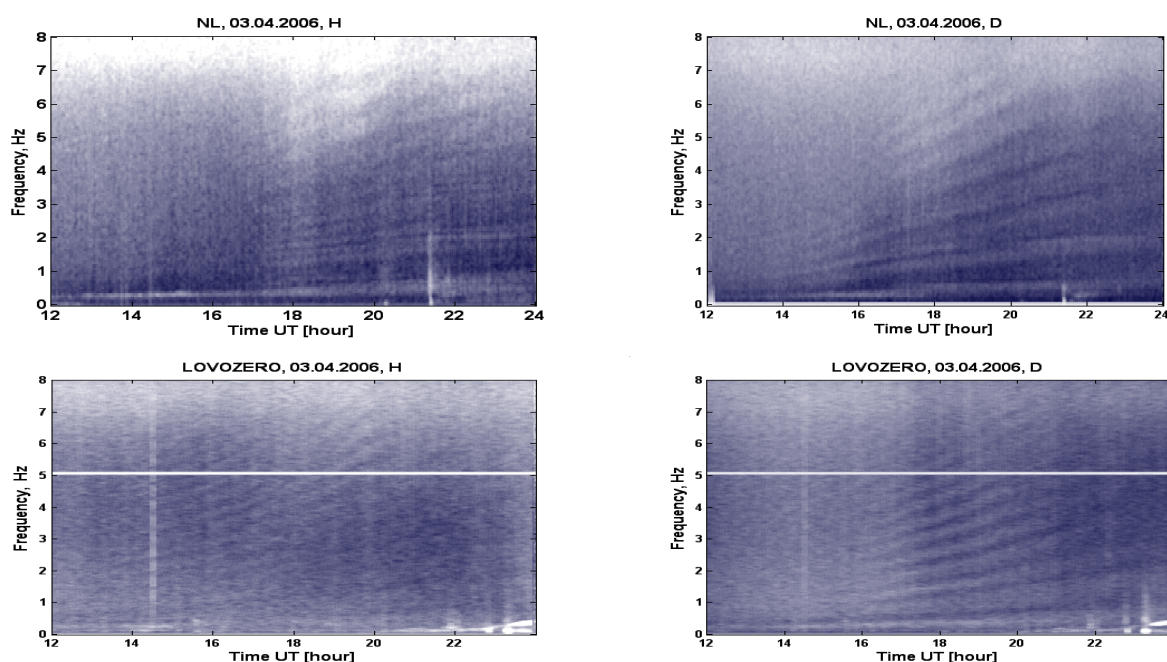


Рис. 4 Спектры магнитных компонент на станциях Ловозеро и «Новая Жизнь», демонстрирующие наличие тонкой структуры только на станции «Новая Жизнь» (верхняя левая панель)

По сравнению с тонкой структурой, обнаруженной на о. Крит, тонкая структура на более высоких широтах имеет некоторые особенности: частотные масштабы этой структуры на этих широтах в 1.5-2 раза больше, чем на о. Крит, глубина осцилляций, напротив, существенно меньше (на 20-30%).

3. Результаты численных расчетов

Поскольку механизм формирования тонкой структуры, рассмотренный в работе [5], не подходит для широт приемного пункта «Новая Жизнь», а периоды осцилляций наблюдаемой структуры существенно меньше, чем периоды традиционных резонансных структур, связанных с влиянием локального ионосферного резонатора, мы исследуем возможность влияния параметров нелокальной ионосферы на спектры магнитных компонент шума. В данной статье мы будем использовать результаты решения задачи о вычислении магнитных компонент в сферическом горизонтально-неоднородном волноводе земля – ионосфера [5] и пользоваться методикой расчета поверхностного импеданса анизотропной и неоднородной ионосферы, развитой в [6]. Ниже представлены результаты численных расчетов магнитных компонент КНЧ полей, возбуждаемых в горизонтально-неоднородном волноводе наземным источником типа вертикальный электрический диполь. Для расчетов мы будем использовать модель IRI-2007 для описания ионосферных профилей над точкой приема (локальная ионосфера) и модель электронной концентрации, задаваемую аналитической функцией α -Chapman для более низкой широты (35° с.ш.) в послезакходные часы для

описания нелокальных свойств ионосферы вдоль трассы распространения радиоволн. Последний модельный профиль приводит к резонансным осцилляциям в спектрах магнитных компонент с частотными масштабами ΔF в 3-4 раза меньшими, чем периоды осцилляций для модельных профилей локальной ионосферы. Ниже рассмотрены также случаи, когда нелокальная ионосфера задается частично более плавным профилем IRI-2007 и частично профилем, приводящим к осцилляциям с малым ΔF . Результаты моделирования представлены на Рис.5

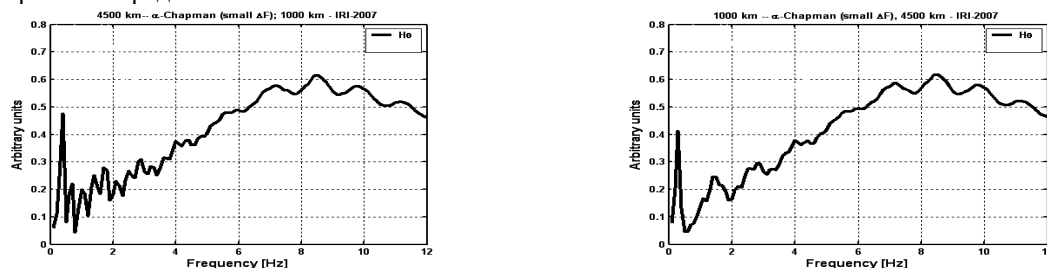


Рис. 5 Примеры моделирования магнитной компоненты H_J для горизонтально неоднородного волновода земля-ионосфера.

Результаты численных расчетов указывают на принципиальную возможность влияния параметров нелокальной ионосферы на спектры магнитного шума. Но это влияние может быть заметным лишь при наличии очень протяженной области ионосферы (вдоль трассы более 1000-1500 км) с более резким, чем в приемном пункте, характером спада электронной концентрации на высотах выше максимума F-слоя. Кроме того, влияние нелокальной ионосферы для экваториальных источников не объясняет факта обнаружения тонкой структуры только в одном из наблюдательных пунктов (Новая Жизнь, Ловозеро).

3. Выводы

Из приведенных выше результатов экспериментальных исследований следует:

тонкая структура спектра наблюдается на станции «Новая жизнь» в период минимума солнечной активности, как правило, в периоды существования сложного характера РСС (дополнительные максимумы, неэквидистантность резонансных линий). Частотный диапазон, в котором наблюдается тонкая структура, зависит от сезона, максимален в осенне-весенний период и существенно меньше, чем частотный диапазон, в котором регистрируется обычная РСС. Тонкая структура, как правило, возникает с задержкой по отношению к традиционной РСС на 3-4 часа. Целесообразно развитие альтернативных механизмов формирования тонкой структуры на средних широтах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ гранты №№ 11-02-97104 р_поволжье_а, 11-02-97101 р_поволжье_а, а также программы ОФН РАН № VI.15 «Плазменные процессы в солнечной системе».

Список литературы

1. Беляев П.П., Поляков С.В., Рапопорт В.О., Трахтенгерц В.Ю. Обнаружение резонансной структуры спектра атмосферного электромагнитного шумового фона в диапазоне короткопериодных геомагнитных пульсаций. // Докл. АН СССР. 1987. Т.297. С.840-843.
2. Ермакова Е.Н., Котик Д.С., Поляков С.В., Щенников А.В. О механизме формирования широкополосного максимума в спектре фоновых шумов на частотах 2-6 Гц. // Изв. вузов. Радиофизика. 2007. Т.50, №7. С.607-623.
3. Ермакова Е.Н., Котик Д.С., Поляков С.В. Исследование особенностей резонансной структуры спектра фоновых шумов в диапазоне частот 1-10 Гц с учетом наклона магнитного поля Земли. // Изв. вузов, Радиофизика. 2008. Т.51, №7. С.575-584.
4. E.N. Ermakova, S.V. Polyakov, D.S. Kotik, Studies of the fine structure in the background magnetic ULF noise spectrum at the mid latitude, // Abstracts of XXXIII Annual Seminar "Physics of Auroral phenomena", 2 -5 March 2010. P. 55.
5. Böisinger T., Demekhov A.G., Trakhtengerts V.Yu. Fine structure in ionospheric Alfvén resonator spectra observed at low latitude ($L = 1.3$). // Geophys. Res. Lett. 2004. V.31. Art. no. L18802. doi:10.1029/2004GL020777, 2004.
6. Кириллов В.В., Копейкин В.Н., Решение двухмерного телеграфного уравнения с анизотропными параметрами. // Изв. вузов. Радиофизика. 2002. Т.45, №12. С.1011.
7. Ермакова Е.Н., Котик Д.С., Поляков С.В. Исследование особенностей резонансной структуры спектра фоновых шумов в диапазоне частот 1-10 Гц с учетом наклона магнитного поля Земли. // Изв. вузов, Радиофизика. 2008. Т.51, №7. С.575-584.