

МЕЛКОМАСШТАБНЫЕ НЕОДНОРОДНОСТИ В ИОНОСФЕРЕ.
РЕЗУЛЬТАТЫ РАДАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Митяков Николай Анатольевич,
Алимов Владимир Александрович
Зиничев Виталий Александрович
Комраков Георгий Петрович

Препринт № 544

Мелкомасштабные неоднородности в ионосфере.
Результаты радарных исследований

Н.А.Митяков
В.А.Алимов
В.А.Зиничев
Г.П.Комраков

Подписано в печать 30.11.11. Формат 60x84/16
Бумага писчая. Объем 0,75 усл.п.л.
Тираж 50. Заказ 5610

Отпечатано в ФГБНУ НИРФИ.
603950 Н.Новгород, ул. Б.Печерская, 25/12а

Нижний Новгород

2011

УДК 550.388.2 551.510.535

МЕЛКОМАСШТАБНЫЕ НЕОДНОРОДНОСТИ В ИОНОСФЕРЕ.
РЕЗУЛЬТАТЫ РАДАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ / Н. А. Митяков,
В. А. Алимов, В. А. Зиничев, Г. П. Комраков // Препринт №544. –
Нижний Новгород: ФГБНУ НИРФИ, 2011. – 12 с.

В препринте приведены некоторые результаты исследований естественной мелкомасштабной турбулентности в ионосфере, полученные с использованием радара стенда СУРА в период 2006 – 2011 гг. Особое внимание уделено особенностям распределения неоднородностей в интервале высот 90 – 500 км.

Не выявлено сколько-нибудь заметной зависимости интенсивности рассеянного сигнала от направления луча радара. С учетом того, что наблюдения с разным положением луча радара были разнесены во времени до 40 мин (время, необходимое для ручного переключения фазирующей системы двух антенных секций), то это могло быть связано с общей нестационарностью процессов в ионосфере.

Важным является вопрос о форме неоднородностей в слое F ионосферы. А. Н. Караштин утверждает (частное сообщение), что высотный градиент скорости дрейфа плазмы поперек геомагнитного поля приводит к искажениям формы естественных и искусственных неоднородностей, сильно вытянутых вдоль геомагнитного поля. Концы неоднородностей могут быть изогнуты, что может явиться причиной усиления радарных сигналов. В [4] показано, что в верхней части слоя F отношение продольных и поперечных размеров неоднородностей не велико ($\alpha \leq 10$). В этом случае искажение формы неоднородностей незначительно, не приводит к росту интенсивности сигналов обратного рассеяния радиоволн и, следовательно, не влияет на расчеты параметров неоднородностей по данным радарных измерений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 09-02-00257).

Литература

1. Зиничев В.А., Комраков Г.П., Митяков Н.А., Рапопорт В.О., Рыжов Н.А., Сазонов Ю.А. Радиоакустическое зондирование ионосферы // Изв. ВУЗов Радиофизика. 2009. № 2. С. 128 – 133.
2. Зиничев В.А., Комраков Г.П., Митяков Н.А., Рапопорт В.О. Обратное рассеяние в слоях E и F при вертикальном падении радиоволн на ионосферу // Изв. ВУЗов Радиофизика. 2009. № 1. С. 13 – 17.
3. Митяков Н.А., Алимов В.А., Зиничев В.А., Комраков Г.П., Митяков С.Н. Исследование мелкомасштабной турбулентности в слое F ионосферы методом обратного рассеяния коротких радиоволн // Изв. ВУЗов Радиофизика. 2010. № 5 – 6. С. 329 – 337.
4. Алимов В.А., Зиничев В.А., Митяков Н.А., Митяков С.Н. Мелкомасштабная турбулентность в верхней ионосфере // Изв. ВУЗов Радиофизика (в печати).

В 2006 г. на полигоне Васильсурск проводилось радиоакустическое зондирование D-области ионосферы на частотах радиоканала около 9 МГц [1]. В этих экспериментах использовался радиопередатчик ПКВ-250 («Вьюга»), работавший в импульсном режиме с пиковой мощностью около 200 кВт, длительностью импульсов 300 мкс и тактовым периодом 2500 мкс (максимальная дальность зондирования составляла 375 км). Для излучения и приема радиосигналов использовались отдельные секции антенного комплекса Сура, включающие по 48 диполей с круговой поляризацией на площади 100×300 м. Диаграммы направленности приемной и передающей антенных секций были ориентированы в вертикальном направлении.

При обзоре всей области зондирования от 70 до 375 км кроме обычных сигналов, рассеянных в E-слое ионосферы, были обнаружены интенсивные сигналы, рассеянные в области высот 200 – 350 км [2]. На рис.1 представлен в яркостной записи в координатах «высота-время» фрагмент обработки данных одного из сеансов зондирования ионосферы за 26 сентября 2006 г. продолжительностью 1 мин. На этом рисунке интервалу высот 0 – 50 км соответствует зондирующий сигнал передатчика (с необходимым ослаблением на входе радиоприемника), на высотах 106 – 160 км выделяются (на 4–6 и 20–25 с) хорошо известные интенсивные непродолжительные (1 – 5 с) сигналы, обусловленные отражениями от метеорных следов. В интервале высот 200 – 240 и 300 – 350 км также видны интенсивные сигналы.

Следует пояснить, что синусоидальный сигнал на яркостной записи представляется чередующимися темными и светлыми полосами (темные полосы представляют отрицательные значения сигнала, светлые – его положительные значения). Наклон этих полос относительно горизонтальной оси в структуре отраженного сигнала определяется изменением фазы сигнала за счет движения неоднородностей. Отсутствие наклона линий в сигнале передатчика (область высот 0 – 50 км) свидетельствует о постоянстве начальной фазы в каждом излучаемом импульсе передатчика.

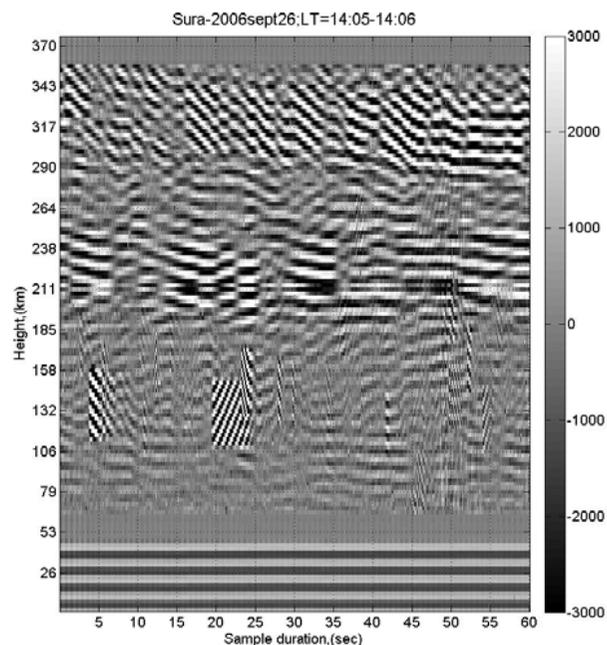


Рис.1

Поскольку частота радиопередатчика в этих сеансах была значительно выше критической частоты ионосферы, то принимаемые в интервале высот 200 – 360 км сигналы, казалось, могли быть связаны только с рассеянием на мелкомасштабных ($\lambda/2$; 15 м) неоднородностях ионосферы.

В 2009 – 2011 гг. были проведены специальные эксперименты по радиолокационному зондированию ионосферы на том же аппаратном комплексе [3, 4]. В отличие от экспериментов 2006 г. тактовый период работы передатчика в этих экспериментах был увеличен до 10 мс, потом 15 мс и даже (в ряде сеансов 2010 г.) до 25 мс. При длительности тактового периода 15 мс (которая чаще всего использовалась в экспериментах 2010 – 2011 гг.) максимальная дальность зондирования составляла 2250 км. Это позволило избавиться от недостатка экспериментов 2006 г., когда дальность зондирования могла оказаться недостаточной, вследствие чего было возможно наложение отраженных сигналов от предыдущих тактовых импульсов передатчика, приходящих с временной задержкой, превышающей тактовый период излучения локатора.

В августе 2011 г. проведено 23 сеанса регистрации сигналов обратного рассеяния радиоволн. Мелкомасштабные неоднородности на высотах, превышающих 250 км, наблюдались примерно в половине сеансов. Средняя интенсивность сигнала на входе приемника не превышала 10^{-12} Вт. Типичный образец яркостной записи 9 августа 2011 г. приведен на рис.5.

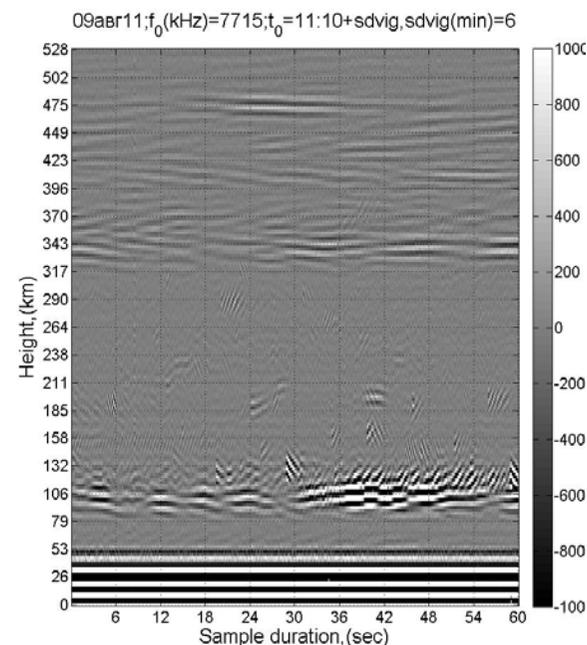


Рис.5

Банк данных радарных измерений за весь период 2009–2011 гг. позволяет рассчитать значения относительной частоты появления мелкомасштабных неоднородностей в различных областях ионосферы.

Относительно стабильный (вероятность более 95%) рассеянный сигнал приходит с высот около 100 км. Этот сигнал хорошо известен и обусловлен рассеянием в E-слое ионосферы. Сигналы, которые наблюдались в интервале высот 220–280 км, появлялись примерно в 15% от общего времени наблюдений. Сигналы выше максимума F-слоя (высоты более 300 км) наблюдались примерно в 50% времени.

наблюдались в области высот 250 – 480 км (как ниже, так и выше главного максимума ионизации).

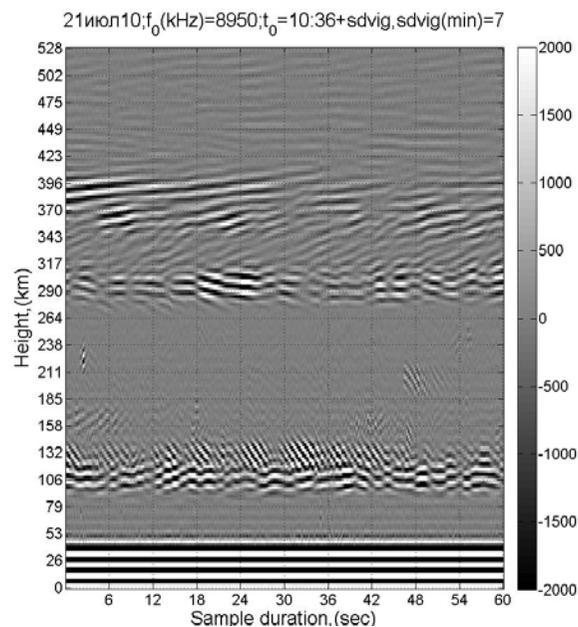


Рис.3

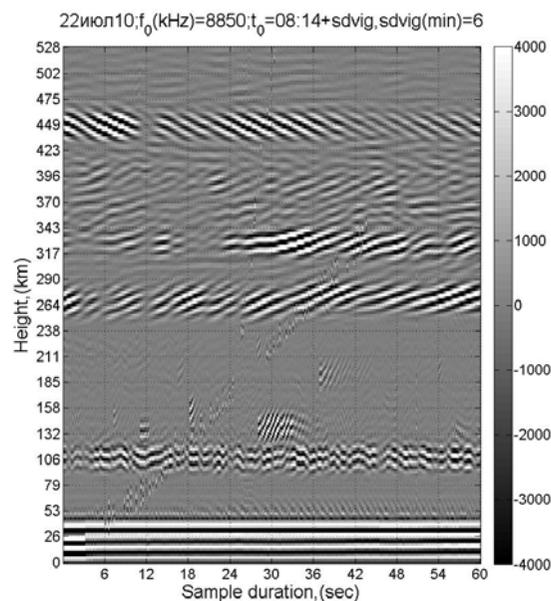


Рис.4

Это позволило обнаружить и идентифицировать отраженные сигналы, связанные с известным эффектом возвратно-наклонного зондирования ионосферы (ВНЗ) и приходящие с дальностей 700 км и более.

Зондирование обычно проводилось недельными циклами в период с мая по сентябрь месяцы в светлое время суток, но в некоторых сеансах – в вечернее время. Общее время наблюдений в 2009–2011 гг. составило более 200 ч. Зондирование проводилось как при вертикальном положении луча радара, так и при наклоне луча в плоскости север – юг на угол от 12 до 24 град (от вертикали). Практически всегда на различных высотах наблюдались сигналы, рассеянные на естественных неоднородностях.

Радарные эксперименты, проведенные в 2009 г., достаточно полно отражены в работе [3]. На основе экспериментов 2009 г. получены данные об относительной дисперсии электронной концентрации в естественных условиях и в условиях модификации ионосферы мощными радиоволнами. Уточнена эмпирическая модель мелкомасштабной ионосферной турбулентности [4].

Ниже мы остановимся на результатах, полученных в 2010 и 2011 гг. при зондировании естественной ионосферы, а в заключение приведем статистику появления неоднородностей в интервале высот 90–500 км по всему периоду наблюдений.

На рис.2а представлен фрагмент обработки данных одного из сеансов импульсного зондирования от 10 августа 2010 г. с разверткой до 2250 км, а на рис.2б – тот же фрагмент в интервале дальностей до 528 км. На рис.2в показана осциллограмма принимаемых сигналов, соответствующая 30-й секунде фрагмента на рис.2а. Видно, что на дальностях 370 – 450 км регистрируется интенсивный рассеянный сигнал с амплитудой до 50 мкВ (на приводимых рисунках величина сигнала дана в относительных единицах), а в интервале 1000–1140 км хорошо видны сигналы ВНЗ. На рис.2г приведена ионограмма для близкого момента времени. В этом сеансе рассеянные сигналы приходили с высот 370–450 км и не могли быть обусловлены эффектом ближнего ВНЗ (ввиду отсутствия спорадического слоя E, см. рис 2г).

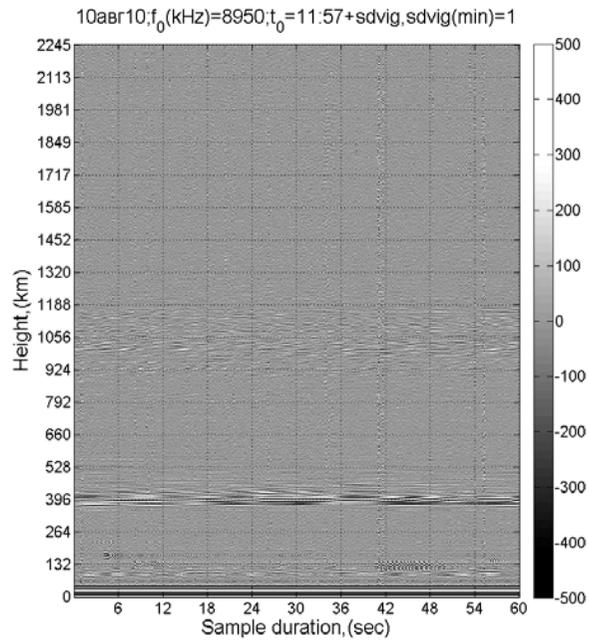


Рис.2а

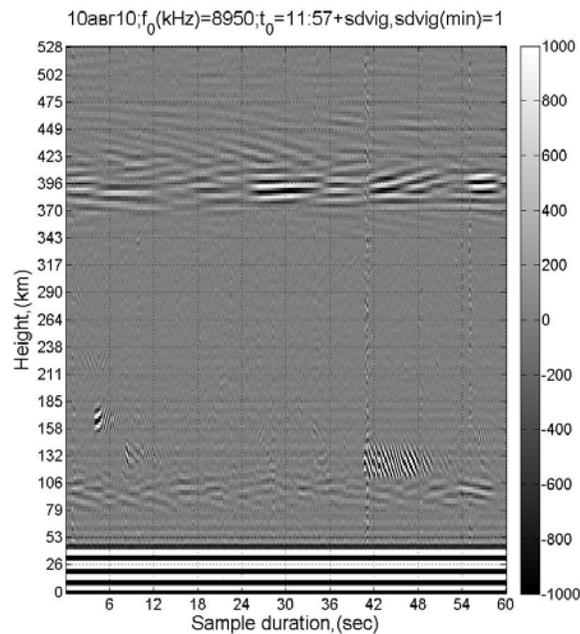


Рис. 2б

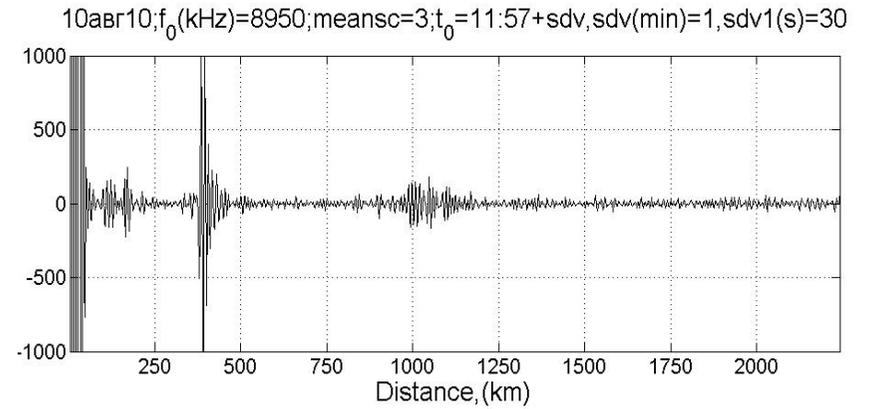


Рис. 2в

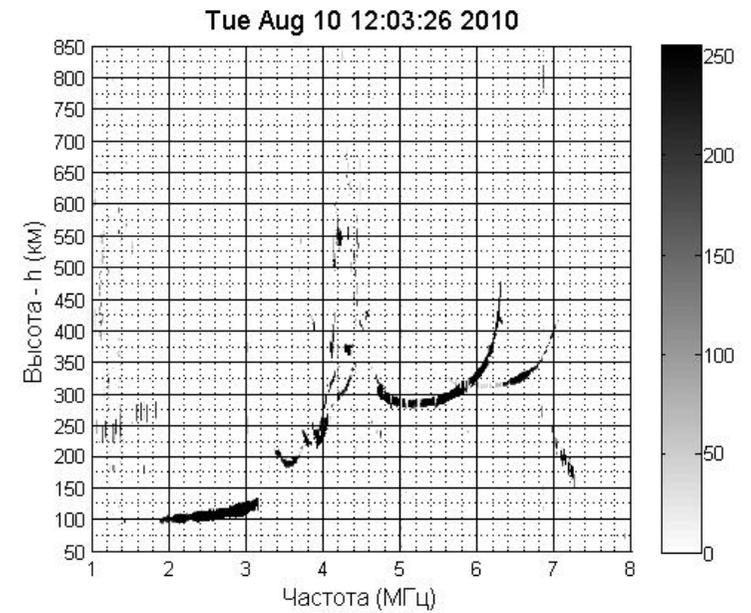


Рис.2г

На рис.3 представлены данные обратного рассеяния, относящиеся к 21 июля 2010 г. Здесь интенсивный рассеянный сигнал наблюдался на высотах 100–130 и 280–400 км. На рис.4 представлены данные обратного рассеяния, относящиеся к 22 июля 2010 г. В этом сеансе, как и в 2006 г. (рис.1), рассеянные сигналы