

УДК 550.388.2:621.371.25

**В.М. Новиков**

## **Эффект фокусировки на границе мертвой зоны при разнесённом приёме ВЧ-сигналов**

Представлены результаты экспериментов по обнаружению фокусировки на границе мертвой зоны и диагностике перемещающихся ионосферных возмущений при одновременной регистрации вариаций уровней сигналов станции РВМ на частоте 9996 кГц, принимаемых в городах Шахты и Ростов-на-Дону

**Ключевые слова:** ВЧ-сигнал, эффекты фокусировки, мертвая зона, разнесенный прием, ионосферные возмущения.

В настоящее время в ВЧ-диапазоне спектра электромагнитных волн работает большое количество радиотехнических систем. Для обеспечения их качественного функционирования требуется оперативное определение характеристик среды распространения излучения. Во многих случаях применяется прогнозирование на основе ионосферных моделей, описывающих усредненное распределение и регулярные изменения электронной плотности.

**Модельные расчеты.** Модельные расчеты показывают наличие фокусировки ВЧ-сигналов на границе мертвой зоны (ГМЗ) с увеличением уровней на 6 дБ. В реальных условиях вариации уровней сигнала и углов прихода связаны с ионосферными неоднородностями и перемещающимися ионосферными возмущениями (ПИВ), для которых широкомасштабная регулярная диагностика не проводится по причине технической сложности, а методы оперативного прогнозирования свойств среды распространения излучения отсутствуют. Прохождение границы мертвой зоны происходит в часы суток восхода и захода солнца и совпадает со временем существования интенсивных перемещающихся ионосферных возмущений в ионосфере, влияние которых рассматриваем как локальные искривления отражающих поверхностей, вызывающих фокусировку и дефокусировку радиосигналов.

При значительных вариациях электронной плотности изменяется внутримодовая лучевая структура, обусловленная появлением фактора многолучевого распространения.

Пример модельного расчета флуктуаций уровней отраженных сигналов, доплеровских сдвигов частоты и углов прихода для вертикального зондирования на частоте 10 МГц показан на рис. 1; аналогичные эффекты происходят и при наклонном распространении [1].

**Исследование эффектов на границе мертвой зоны.** Излучение ВЧ-радиосигналов реперных источников успешно применяется для диагностики стохастического состояния ионосферных слоёв уже на протяжении многих лет [2, 3]. В настоящей работе проведены исследования фокусировки на границе мертвой зоны и возможности диагностики перемещающихся ионосферных возмущений при одновременной регистрации вариаций уровней ВЧ-сигналов, принимаемых в двух разнесенных пунктах. Используется традиционный метод наклонного зондирования (НЗ) с регистрацией относительных изменений амплитуды сигналов, излучаемых радиостанциями точного времени [3]. Состав аппаратуры, характеристики трасс и методики обработки сигналов описаны в [4]. Расстояние между приемными пунктами 68,4 км, частота сигнала 9996 кГц (станция РВМ (станция стандарта частоты и времени), Москва). Одновременная регистрация амплитуды ВЧ-поля станции РВМ в пунктах Шахты и Ростов проводилась с мая по сентябрь 2005 г. на протяжении примерно 150 суток, измерения в п. Ростов проводятся непрерывно по настоящее время.

Совместные измерения проведены при минимальной солнечной активности в летний период, т.е. в условиях низких критических частот и высокой вероятности появления спорадического слоя  $E_s$ .

Экспериментальные данные позволяют установить как прохождение границы мертвой зоны в результате регулярных суточных вариаций электронной плотности, так и появление локальных во времени изменений уровней сигналов под действием перемещающихся ионосферных возмущений. Пример вариаций относительного уровня сигналов (отношения величины текущего уровня сигнала к минимальному значению уровня) представлен на рис. 2.

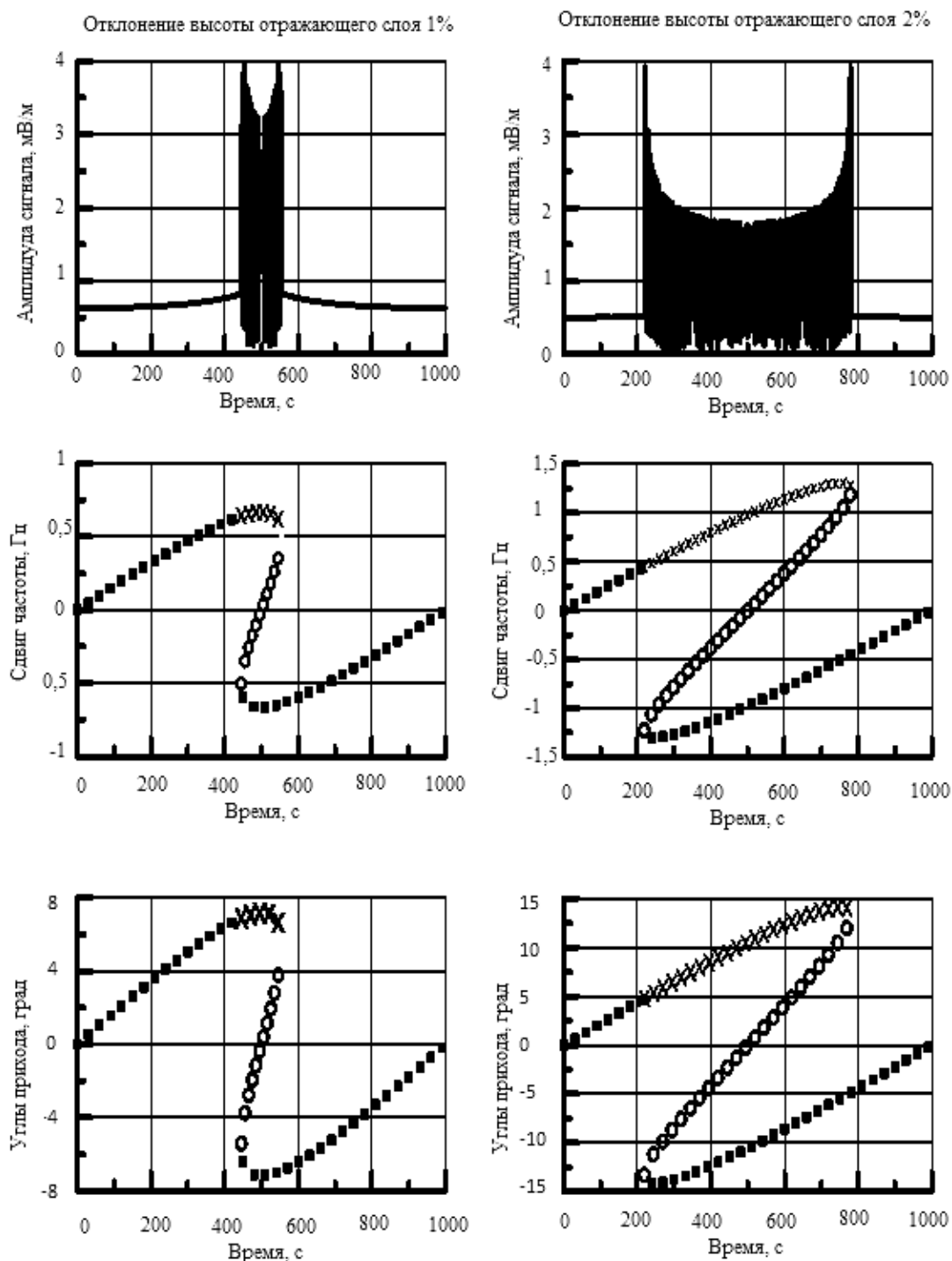


Рис. 1. Изменение характеристик отраженных сигналов под влиянием ПИВ

Нижний график профильтрованной последовательности по флуктуациям уровня позволяет обнаружить наличие «волноподобных» квазипериодических движений с повторяемостью порядка одного часа в часы захода солнца и более низкочастотной повторяемостью, указывающей на влияние более крупного масштаба образований, во время восхода солнца.

На рис. 3 в п. Ростов отслеживается фокусировка на границе мертвой зоны по Х- и О-волне, а также размазывание эффекта фокусировки из-за влияния ионосферных неоднородностей. В п. Шахты эффект фокусировки менее выражен. В обоих пунктах присутствуют сигналы до прохождения границы мертвой зоны. Вблизи границы мертвой зоны в зоне тени во многих случаях наблюдаются быстро флуктуирующие сигналы, существенно превышающие уровень шумов, которые можно объяснить рассеянием на мелкомасштабных неоднородностях.

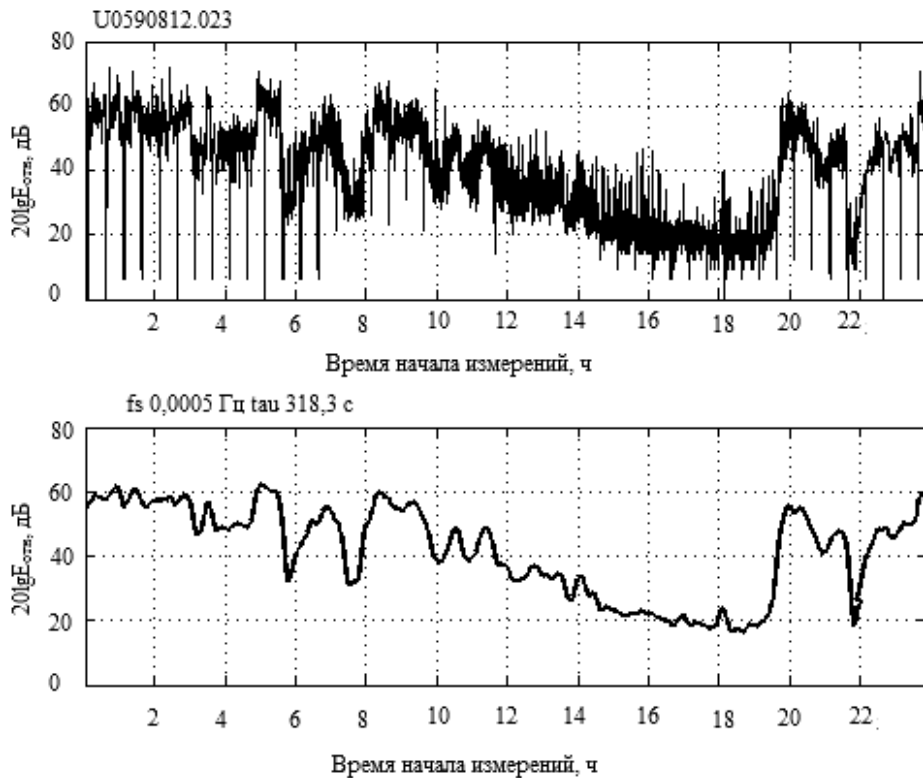


Рис. 2. Суточный ход относительного уровня амплитуды сигнала  $E_{отн}=E/E_{мин}$  (в п. Ростов (08–09.09.2005) после первичной обработки и низкочастотной фильтрации. Начало измерений: 12 ч 2 мин местного декретного времени (МДВ)

На рис. 4 показан пример двойного прохождения границы мертвой зоны в п. Ростов («возвратная» фокусировка согласно [2]) в вечернее время, вызванного движением крупномасштабной неоднородности в области отражения. Скорость прохождения границы мертвой зоны, определяемая по разнице появления Х- и О-волны, оценивается, как 0,65 МГц за 120 с, что существенно превышает регулярные суточные изменения. «Возвратная» фокусировка в ряде случаев может быть отождествлена с магнитными возмущениями.

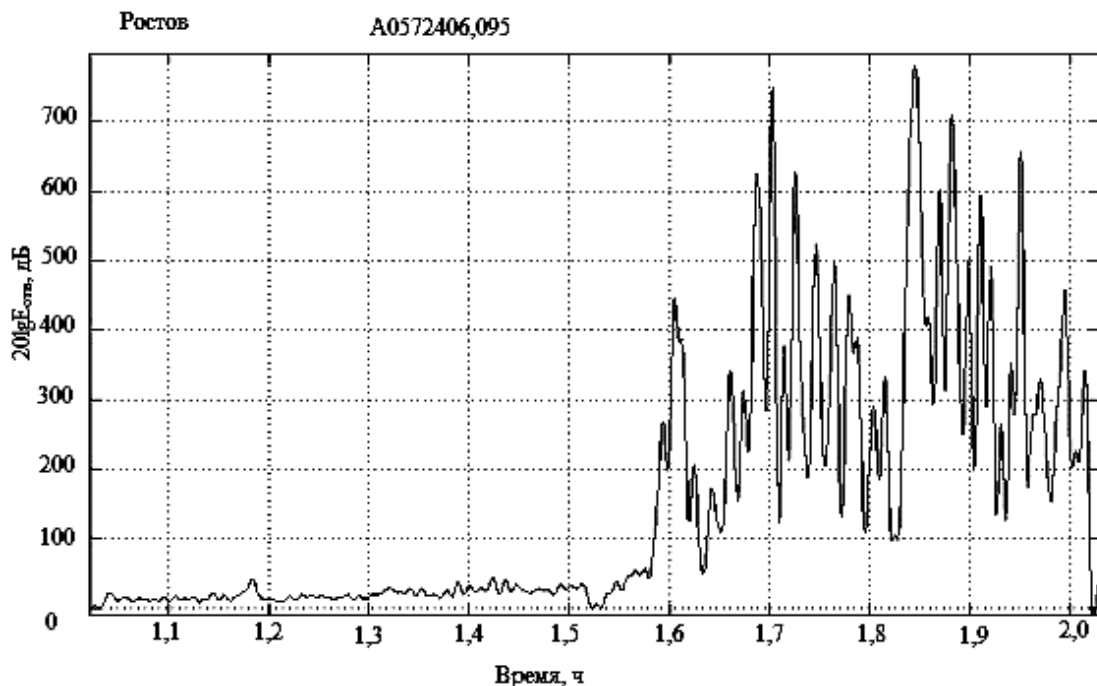


Рис. 3 (начало)

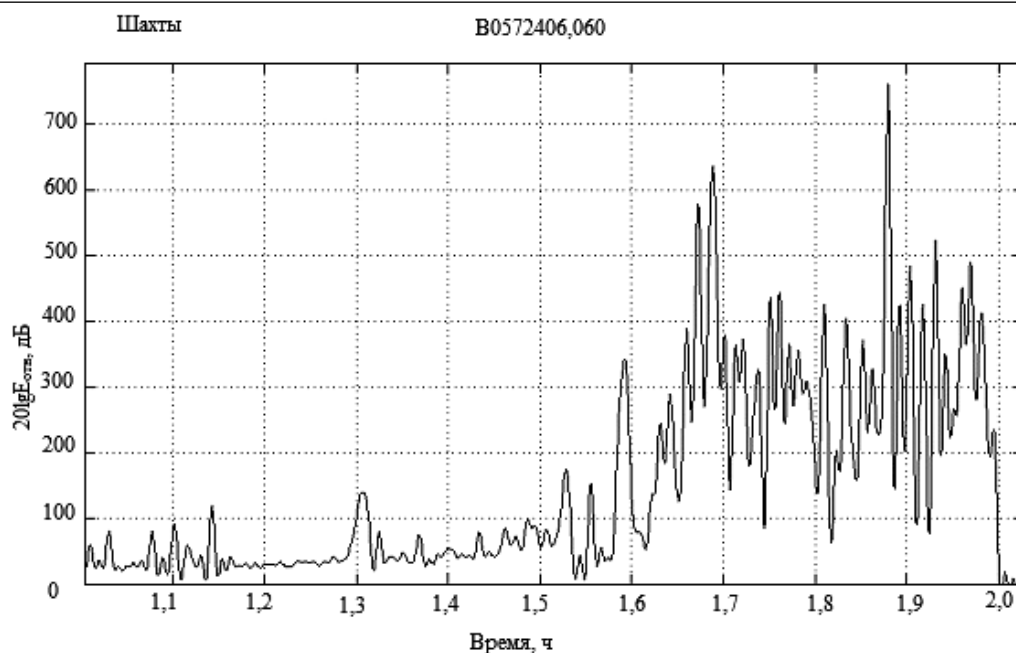


Рис. 3 (окончание). Результаты одновременных измерений относительных уровней амплитуд сигналов в п. Ростов – время начала 6 ч 9 м МДВ и п. Шахты – 6 ч 6 м МДВ, 24.07.2005 г.

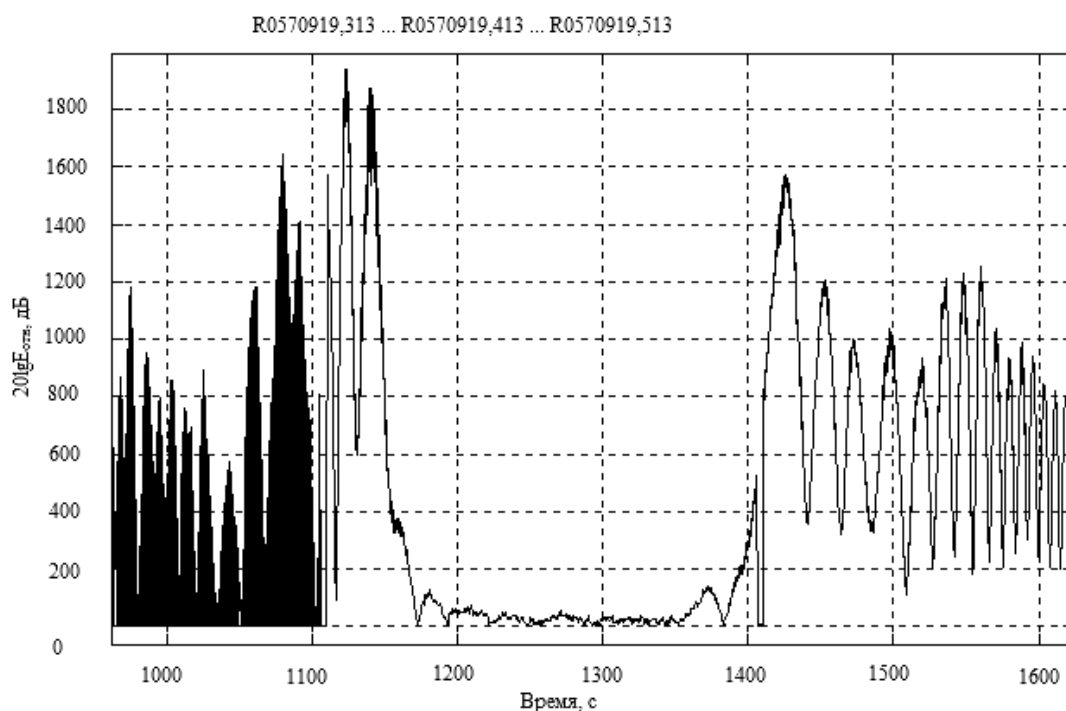


Рис. 4. Двойное прохождение границы мертвой зоны (начальное время 19 ч 31 мин МДВ)

График на рис. 4 соответствует началу магнитной бури с резким увеличением вертикальной составляющей геомагнитного поля от фонового уровня до 400 нТл на ст. Москва. В предположении, что в связи с магнитным возмущением на границе полярного овала возникают перемещающиеся ионосферные возмущения типа «солитона» и распространяющиеся к экватору, его скорость оценивается величиной 500 м/с.

В пространственно разнесенных точках наблюдаются подобные изменения сигнала, однако степень подобия небольшая. Коэффициенты корреляции более 0,5 достигаются при усреднении за сотни секунд, статистически надежные оценки – при обработке записей длиной в несколько часов. При этом положение максимума взаимной корреляционной функции имеет размах в пределах плюс-минус десять минут и более. Среднее время запаздывания прохождения границы мертвой зоны на

восходе в п. Шахты относительно п. Ростов составило 259 с, среднее время опережения на заходе – 492 с, что при расстоянии между точками наблюдения 50 км соответствует скорости прохождения границы мертвой зоны 193 и 102 м/с. Реально наблюдаемые структуры поля далеки от идеальных и могут существенно изменяться на относительно малых расстояниях порядка 50 км. Близкая к идеальной структура поля на границе мертвой зоны практически наблюдается не более чем в 3,5% случаев от общего количества наблюдений. Длительность граничного максимума составляет  $40,7 \pm 27,2$  с, отношение максимальной амплитуды к установившемуся значению сигнала имеет значение  $2,9 \pm 0,8$ . В 50% случаев регистрируются изменения уровней сигналов с квазипериодом примерно 1 ч; в 10% – относящиеся к вечерним часам возмущения с квазипериодом до 2 ч. Изменения уровней сигналов, интерпретируемые как уединенные волны типа солитонов, зарегистрированы в 2% времени наблюдений.

#### **Выводы**

1. Близкие к идеализированным интерференционные картины при прохождении границы мертвой зоны, создаваемые регулярными суточными вариациями электронной плотности при движении терминатора, практически встречаются не более чем в 3,5% случаев.
2. В зоне тени вблизи границы мертвой зоны наблюдаются быстро флуктуирующие сигналы, происхождение которых предположительно вызвано рассеянием на мелкомасштабных естественных неоднородностях.
3. «Возвратная» фокусировка сигналов в ряде случаев отождествляется с началом магнитной бури и может объясняться распространением перемещающихся ионосферных возмущений, возникающих в полярной зоне.
4. Повышение информативности наблюдений возможно при одновременном использовании нескольких трасс и набора частот. Пространственный разнос пунктов приема для получения высокой степени подобия вариаций уровней радиосигналов не должен превышать единиц километров. Детальная диагностика ионосферных неоднородностей предполагает применение разделения лучей и измерения их углов прихода.

#### *Литература*

1. Афраймович Э.Л. Интерференционные методы радиозондирования ионосферы. – М.: Наука, 1982. – 200 с.
2. Нагорский П.М. «Возвратная» фокусировка КВ сигнала как индикатор среднemasштабных возмущений / П.М. Нагорский, Ю.Е. Тарашук, Б.Б. Цыбиков // Геомагнетизм и аэрономия. – 2001. – Т. 41, № 6. – С. 841–845.
3. Миркотан С.Ф. Аппаратура для одновременных трехточечных наблюдений за флуктуациями поля и амплитуды ионосферного сигнала / С.Ф. Миркотан, Ю.В. Бочков // Ионосферные исследования. – 1968. – № 15. – С. 125–136.
4. Мониторинг перемещающихся ионосферных возмущений методом наклонного зондирования при разнесенном приеме на фиксированных частотах / П.Ф. Денисенко, И.И. Иванов, Г.И. Кулешов и др. // Тр. междунар. науч. конф. «Излучение и рассеяние электромагнитных волн (ИРЭМВ–2007)». – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2007. – Т. 2. – С. 75–79.

---

#### **Новиков Владимир Михайлович**

Канд. физ.-мат. наук, доцент, зав. каф. «Электрорадиотехника и информатика» (ЭРТИ) Кавминводского института сервиса (филиал) Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса (ЮРГУЭС), г. Шахты, Ростовская область  
Тел.: +7 (928-6) 52-10-77  
Эл. почта: nvm45@mail.ru

Novikov V.N.

#### **Effect of the focusing on dead zone border by space diversity reception of HF signals**

In the article the results of the experiments on HF signals reception are presented. The effects of focusing on dead zone border and influence of TID are studied. Simultaneous registration of signals level on frequency 9996 kHz is organized in two points, Shakhty and Rostov-on-Don.

**Keywords:** HF signal, effects of focusing, dead zone border, influence, space diversity reception.