

РАДИОФИЗИКА ГЕОКОСМОСА

УДК 537.874

С. Б. КАЩЕЕВ, А. В. ЗАЛИЗОВСКИЙ, А. А. СОПИН,
И. И. ПИКУЛИК

Радиоастрономический институт НАН Украины,
ул. Краснознаменная, 4, г. Харьков, 61002, Украина
E-mail: kascheev@rian.kharkov.ua

О ВОЗМОЖНОСТИ БИСТАТИЧЕСКОГО ВЧ ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ СИГНАЛАМИ ТОЧНОГО ВРЕМЕНИ

Проведены исследования характеристик импульсных ВЧ сигналов, которые распространялись между радиостанцией РВМ (Московская обл., Россия) и приемным пунктом в Радиоастрономической обсерватории РИ НАНУ (Харьковская обл., Украина) на частотах выше максимально применимой частоты для прямой трассы. В принятом на ненаправленную антенну многомодовом сигнале исследованы доплеровские сдвиги и время группового запаздывания отдельных составляющих. С помощью остро направленной антенны измерены азимутальные зависимости мощности принятого сигнала. Показано, что распространение электромагнитной энергии между приемным и передающим пунктами происходит по нескольким различным трассам, которые отличаются протяженностью, положением в пространстве и временем существования. Предложено объяснение времени групповой задержки отдельных мод и периода их существования. Показано, что основная составляющая мощности принятого сигнала в спокойных геомагнитных условиях определялась сигналами двухпозиционного возвратно-наклонного зондирования, приходящими с юго-восточного направления, а во время магнитного возмущения – рассеянием на границе полярного овала.

Ключевые слова: максимально применимая частота, импульсный сигнал, время группового запаздывания, доплеровское смещение, ионосферные неоднородности

1. Введение

Влияние ионосферных процессов на флуктуации траектории, амплитуды и частоты ВЧ сигналов на короткой односкачковой трассе, а также решение обратной задачи – восстановление параметров процессов по характеристикам сигналов – рассмотрены в достаточно большом количестве работ (см., например, [1, 2]). Как правило, исследования проводились в условиях, когда частота пробных сигналов была ниже максимально применимой частоты (МПЧ) или в переходных условиях, когда эти частоты были равны. Значительно реже в качестве пробных были использованы сигналы с частотой выше МПЧ. Результаты, полученные во время одного из таких экспериментов, приведены в [3]. В этой работе были измерены характеристики сигналов, которые распространялись по прямой трассе за счет рассеяния на мелкомасштабных ионосферных неоднородностях.

Целью настоящей работы является исследование влияния глобальных ионосферных неоднородностей на характеристики сигналов с частотами выше МПЧ. В отличие от работы [3] измерения характеристик проводилось с применением частотно-временного способа анализа, который позволил получить не только спектральные характеристики многомодового сигнала, принятого на антенну с круговой диаграммой направленности, но также измерить время группового запаздывания отдельных мод. С помощью остро направленной антенны декаметрового радиотелескопа УТР-2 [4] были измерены азимутальные зависимости мощности сигнала. Обнаружено, что распространение электромагнитной энергии между приемным и передающим пунктами происходит несколькими модами со значительно отличающимися временами групповой задержки, причем основная составляющая мощности сигнала обусловлена не самым коротким путем распространения (прямой трассой). Предложено объяснение времени групповой задержки отдельных мод.

© С. Б. Кашеев, А. В. Зализовский, А. А. Сопин,
И. И. Пикулик, 2013

2. Методика проведения экспериментов и обработки результатов

В качестве источника пробных сигналов была использована станция службы точного времени и частоты РВМ (Московская обл., Россия, координаты: 55.75° с. ш., 37.64° в. д.). Ее основным преимуществом является круглосуточное излучение когерентных сигналов параллельно на трех несущих частотах: 4996, 9996 и 14996 кГц. На всех частотах передатчики работают в одном из трех режимов: непрерывном либо в одном из двух типов импульсного. Первый тип импульсного режима имеет частоту повторения 1 Гц при длительности посылки 100 мс, во втором импульсном режиме частота повторения составляет 10 Гц, а длительность импульса 20 мс. Начало излучения импульсных последовательностей синхронизировано с мировым временем (UT).

Сигналы станции РВМ были приняты в Радиоастрономической обсерватории РИ НАНУ (РАО) (Харьковская обл., Украина, координаты: 49.67° с. ш., 36.83° в. д.) с помощью многоканального приемного комплекса параллельно на всех частотах. Прием проводился на широкополосный вертикальный вибратор и, в ряде случаев, с использованием остронаправленной антенны радиотелескопа УТР-2. Начало работы АЦП комплекса было синхронизировано с мировым временем с помощью системы GPS, что позволило измерять абсолютное время задержки сигналов при распространении по различным трассам. Точность измерения времени, как правило, определялась частотой оцифровки сигнала $F_{оц}$. Во время первой измерительной кампании, которая проводилась с 21 по 26 сентября 2010 г., эта частота составляла $F_{оц} = 700$ Гц (период оцифровки $T_{оц} = 1.4286$ мс). Во время второй, состоявшейся с 15 по 18 апреля 2012 г., $F_{оц} = 2230$ Гц ($T_{оц} = 0.4484$ мс), что соответствовало дискретности измерения длины трассы порядка 430 и 140 км соответственно. Чтобы уменьшить влияние внешних шумов и флуктуаций амплитуды сигнала на точность измерений, последние проводились по средней амплитуде импульсов в режиме излучения с частотой 10 Гц. Для этого каждый период, в течение которого излучался такой сигнал (10 мин), был поделен на N интервалов продолжительностью в 1 с. Далее отсчеты амплитуды сигнала были посекундно усреднены:

$$\bar{a}_i = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N a_{in},$$

где \bar{a}_i – средний i -й отсчет амплитуды, задержанный относительно начала каждой секунды мирового времени на $t_{задi} = \frac{i}{F_{оц}}$; i изменяется в пределах от 0 до $(F_{оц} - 1)$; a_{in} – i -й отсчет амплитуды в n -й секунде импульсного излучения.

На рис. 1 приведены результаты такого усреднения (фрагмент длительностью 0.3 с), полученные для периода 19:20–19:30 местного времени (LT) 22.09.2010 г. Кривая 1 отображает среднюю амплитуду сигнала на частоте 9996 кГц; заметим, что на момент проведения измерений эта частота была выше МПЧ. Кривая 2 – средняя амплитуда сигнала на частоте 4996 кГц, которая в это время была ниже МПЧ. Из графиков видно, что времена приема сигналов на разных частотах отличались. На частоте 9996 кГц сигнал состоял из двух импульсов примерно одинаковой амплитуды с разной задержкой, т. е. распространялся по двум трассам различной протяженности. Кроме того, в нем присутствовала компонента, обусловленная распространением по обратной трассе. Ее амплитуда значительно меньше, поэтому начало обратного импульса на фоне прямого сигнала не просматривалось, зато отчетливо видно его окончание (указано стрелками на рис. 1).

Параллельно был проведен спектральный анализ сигналов на обеих частотах с разрешением

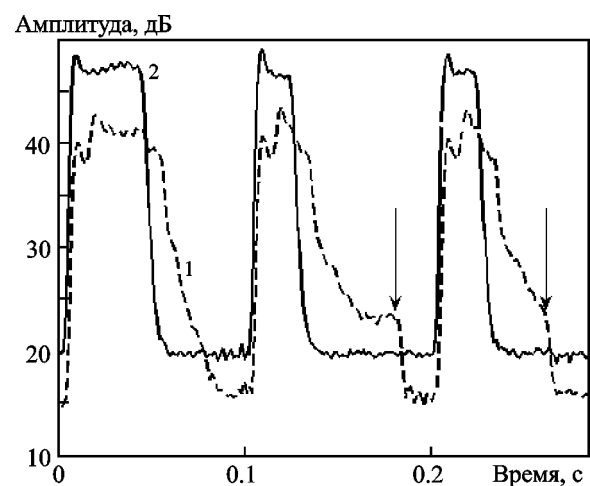


Рис. 1. Фрагмент записи средней амплитуды сигнала радиостанции РВМ, полученный 22.09.2010 г. с 19:20 до 19:30 местного времени: кривая 1 – на частоте 9996 кГц, кривая 2 – на частоте 4996 кГц

0.1 Гц и последующим усреднением в течение 10 мин. В спектре сигнала на частоте 4996 кГц наблюдался один узкий максимум, а на частоте 9996 кГц – два более широких максимума сравнимой амплитуды с различными доплеровскими сдвигами частоты (ДСЧ).

Для вычисления зависимости ДСЧ импульсного сигнала от времени задержки был использован способ частотно-временного анализа. При этом спектр сигнала вычислялся не по всем отсчетам АЦП с частотой $F_{оц}$, а только по выборочным значениям, равноотстоящим от момента излучения очередного импульса, а именно: a_i , $a_{i+0.1F_{оц}}$, $a_{i+0.2F_{оц}}$, $a_{i+0.3F_{оц}}$ (индекс i изменяется от 0 до $0.1F_{оц} - 1$). Частота обработки составила $F'_{об} = 10$ Гц, при этом все дискретные спектральные составляющие импульсного сигнала сворачивались к одной частоте

$$F = (f_{про} - NF'_{об} + F_D),$$

где $f_{про}$ – промежуточная частота оцифрованного сигнала, N – целое частное от деления $f_{про}/F'_{об}$, F_D – ДСЧ сигнала.

Для вычисления спектров бралось 100 отсчетов, что соответствует длине реализации 10 с. В результате была получена последовательность мгновенных спектров сигнала в полосе 5 Гц с разрешением по частоте 0.1 Гц. Так как момент запуска АЦП системы обработки данных был жестко связан с мировым временем, первый отсчет для расчета первого спектра совпал с началом периода излучения импульсного сигнала, вычисление следующего спектра начиналось через время $t = 1/F_{оц}$ и т. д. Вся последовательность, которая может быть названа спектрограммой, состоит из $0.1F_{оц}$ мгновенных спектров и охватывает время, равное периоду излученной импульсной последовательности (100 мс). В качестве примера на рис. 2 приведен результат такой обработки сигнала, полученный в интервале времени с 19:23:00 до 19:23:10 местного времени 22 сентября 2010 г. Амплитуда спектральных составляющих на рисунке отображена в логарифмическом масштабе градиациями серого цвета.

Для всех периодов работы станции РВМ в импульсном режиме с частотой повторения 10 Гц было получено по 60 независимых спектрограмм сигнала, которые усреднялись для каждого периода. На рис. 3 приведен результат усреднения для пе-

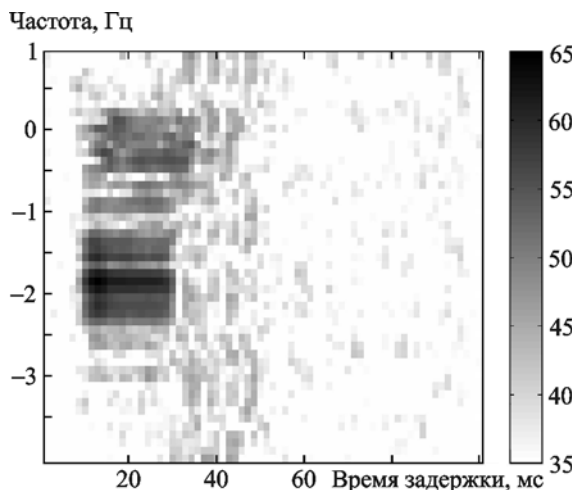


Рис. 2. Спектрограмма сигнала РВМ, полученная в интервале 19:23:00–19:23:10 местного времени 22.09.2010 г. на частоте 9996 кГц

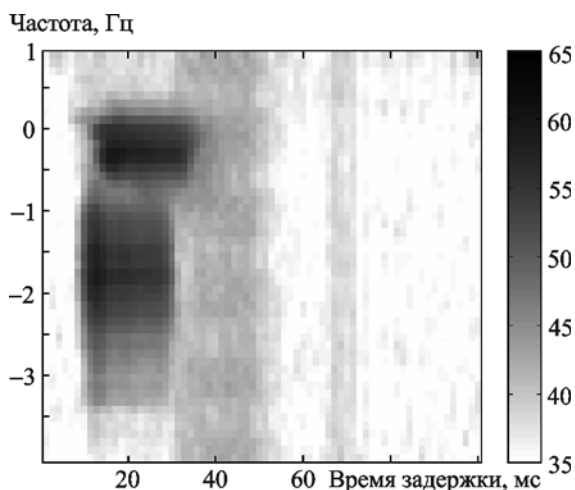


Рис. 3. Усредненная спектрограмма сигнала РВМ, полученная для периода 19:20–19:30 местного времени 22.09.2010 г. на частоте 9996 кГц

риода времени 19:20–19:30 22 сентября 2010 г. Из рисунка следует, что принятый сигнал состоял из 2-х основных мод. Первая по времени, более “широкополосная”, задержана относительно импульса передатчика на 8.6 мс и сдвинута в максимуме спектральной плотности по частоте относительно излученного сигнала на -1.7 Гц. Вторая мода задержана относительно импульса передатчика на 12.9 мс и имеет ДСЧ -0.4 Гц. (Приведенные значения задержки состоят из суммы задержек на трассе распространения и в узкополосных цепях приемника.) Повышенная интенсивность сигнала со спектром, занимающим всю полосу анализа от 25 до 55 мс, объясняется тем,

что каждый импульс РВМ, совпадающий с началом секунды, имеет длину в 2 раза большую, чем остальные (40 мс), и, соответственно, создает дискретные составляющие спектра, которые отстоят друг от друга на 1 Гц.

В ряде случаев во время непрерывного излучения станции РВМ (период такого излучения длился 8 мин и непосредственно примыкал к исследуемому периоду импульсного излучения) проводилось сканирование антенной УТР-2 по азимуту. При этом была использована сравнительно широкая диаграммы направленности (ДН), при этом обработка сигнала проводилась не по всей апертуре антенны, а только по апертуре одной секции западного плеча [4]. (В этом случае ширина ДН по азимуту на частоте 10 МГц менялась от 10° до 15° , а по углу места составляла порядка 50° .) Направление ДН секции дискретно переключалось через 45° по азимуту при фиксированном угле места 35° . В каждом положении в течение одной минуты измерялась средняя мощность принятого сигнала, затем она нормировалась на среднюю мощность сигнала, принятого одновременно на вертикальный вибратор, который находился в непосредственной близости от антенны УТР-2. Результаты измерений азимутальной зависимости сигналов РВМ во время экспериментов будут приведены ниже.

3. Результаты измерений и их обсуждение

Многомодовые сигналы с различными задержками и доплеровскими сдвигами отдельных компонент были зарегистрированы на рабочих частотах 9996 и 14996 кГц в течение всего времени наблюдений, когда эти частоты были выше МПЧ. При этом на частоте 9996 кГц обычно принимались 3 моды, а временами и более. Это число определялось визуально по усредненным амплитудам сигналов, таким же, как представлены на рис. 1. На рис. 4 приведены временные зависимости длины групповых путей различных мод сигнала на частоте 9996 кГц, полученные в апреле 2012 г. Ошибки определения расстояния, как было указано выше, не превосходили 140 км, т. е. были значительно меньше, чем измеренная разность групповых путей отдельных мод.

Наиболее энергонесущая компонента сигнала, показанная на рис. 4 квадратами, была принята с задержкой, соответствующей длине трассы от 3

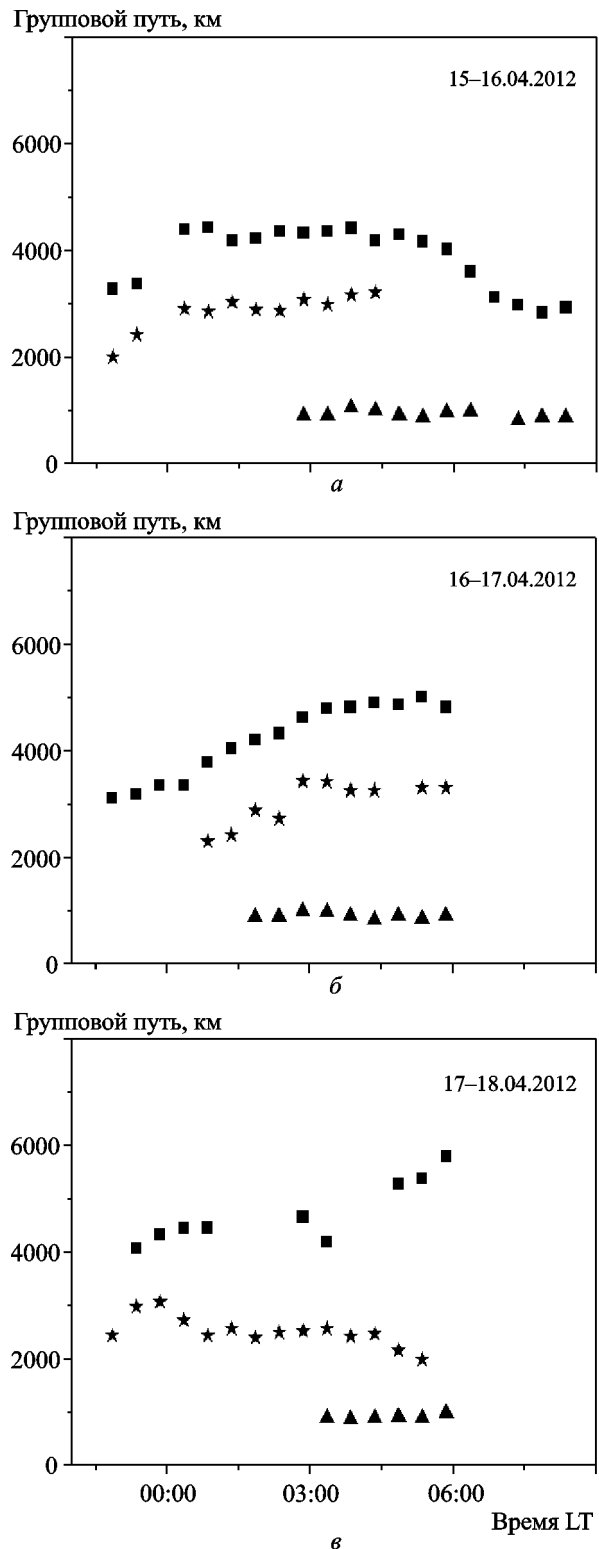


Рис. 4. Длина группового пути различных мод импульсного сигнала на частоте 9996 кГц на трассе станция РВМ – РАО: а – 15–16.04.2012 г.; б – 16–17.04.2012 г.; в – 17–18.04.2012 г.

до 5 тыс. км. На рис. 5 приведены флуктуации ДСЧ основного спектрального максимума этой моды. В первые два дня хорошо просматривается общая тенденция: нулевой сдвиг до 00:00 местного времени, затем отрицательный сдвиг примерно до 03:00, далее следует положительный сдвиг в часы рассвета на ионосферных высотах. Такое поведение ДСЧ соответствует следующему изменению длины трассы распространения сигнала в это время (рис. 4, а, б): неизменная длина радиотрассы, удлинение трассы и последующее укорочение (хорошо видно в более позднее время на рис. 4, а). Скорее всего, эта мода обусловлена отражением сигналов от поверхности Земли на больших расстояниях от передающего и приемного пунктов. Их можно назвать сигналами бистатического возвратно-наклонного зондирования (ВНЗ). При этом электромагнитная энергия переносится от передатчика ионосферной волной за счет зеркального отражения, затем рассеивается земной поверхностью и опять-таки ионосферной волной доходит до приемника. Косвенным подтверждением этой гипотезы является тот факт, что соответствующий импульс был “размыт” по времени прихода, т. е. в соседних ячейках разрешения по частоте начинался в разное время, так как отражался от протяженного объекта (см. вторую по времени моду на рис. 3).

Для определения азимута основной энергосущей составляющей сигнала РВМ в ряде случаев проводилось сканирование по методике, изложенной выше. Результат одного из таких сканов приведен на рис. 6. Отсутствие ярко выраженного основного направления приходящего сигнала может быть связано с большой протяженностью рассеивающей поверхности не только по дальности, на что указывалось выше, но и по азимуту, что следует из того же рис. 6. Результаты сканирований в вечернее время в разные дни измерений повторялись. Это позволило сделать вывод, что наиболее мощный сигнал поступал с юго-восточного направления.

Отметим, что в силу особенностей конструкции антенны телескопа низкие значения мощности принятого сигнала при азимутальных углах 90° и 270° определяются частичным подавлением сигнала в этих направлениях за счет собственных ДН одиночных вибраторов УТР-2 [4].

Для исследования связи месторасположения основной рассеивающей области с текущим состоянием ионосферы было проанализировано полное

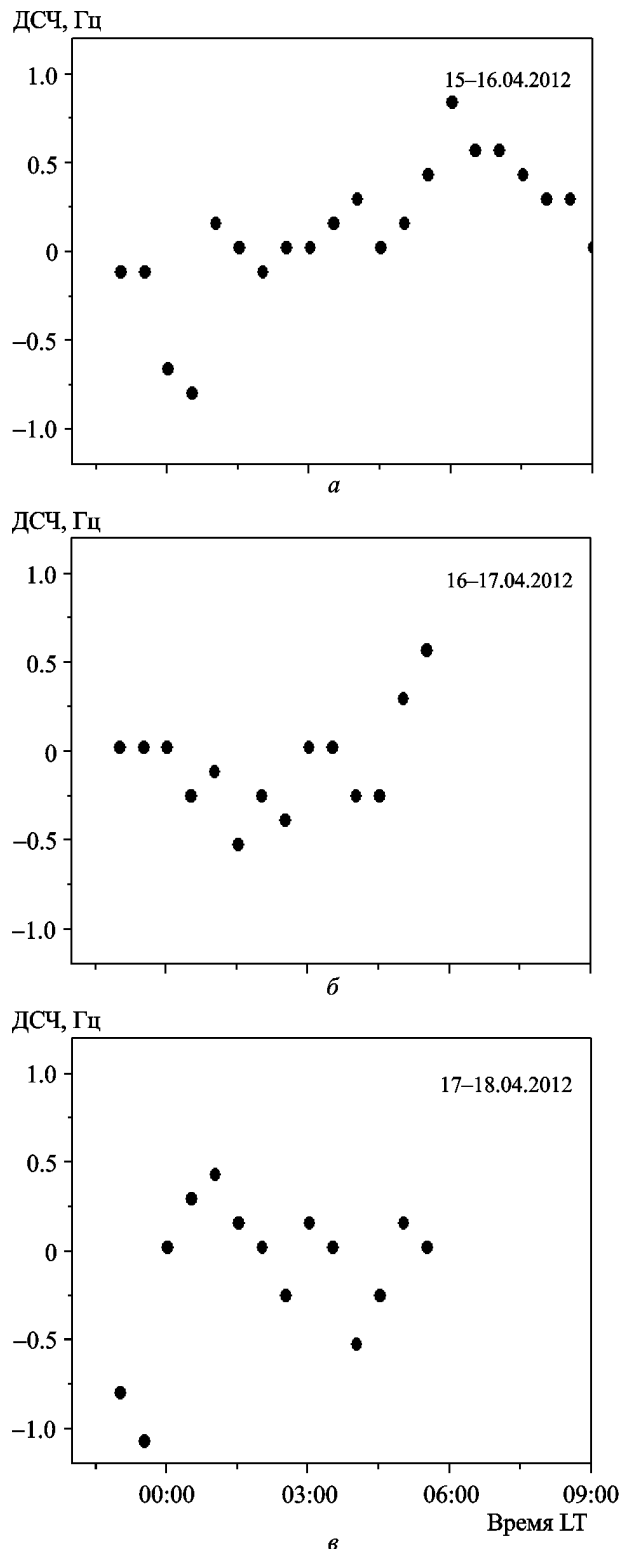


Рис. 5. ДСЧ основного спектрального максимума сигнала РВМ на частоте 9996 кГц: а – 15–16.04.2012 г.; б – 16–17.04.2012 г.; в – 17–18.04.2012 г.

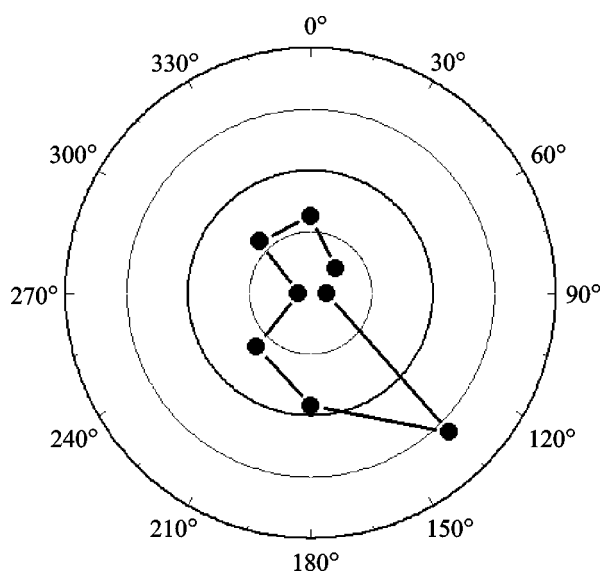


Рис. 6. Азимутальная зависимость мощности сигнала РВМ, зарегистрированная в РАО в период 18:30 – 18:38 16.04.2012 г. 12-й секцией телескопа УТР-2

электронное содержание (ПЭС) и его изменение во времени в районе проведения эксперимента. ПЭС вычислено с использованием глобальных ионосферных карт, доступных на сайте <ftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODE/2012/>. На рис. 7 показаны проекции изолиний ПЭС на поверхность Земли (сплошные кривые) в единицах TECU ($1 \text{ TECU} = 10^{16} \text{ м}^{-2}$) в разное время суток. На рисунке приведено также геометрическое место точек, суммарное расстояние от которых до приемного и передающего пунктов постоянно и соответствует измеренной длине трассы при ВНЗ в соответствующее время (пунктирные кривые). Штрихпунктирными кривыми показано геометрическое место точек, равноудаленных от передающего/приемного пункта и рассеивающей поверхности. Прямыми линиями показаны возможные траектории распространения по трассе передатчик – поверхность Земли – приемник, а точки их пересечения со штрихпунктирными кривыми примерно соответствуют положению точек отражения от ионосферы. Из графиков следует, что в вечернее и ночное время в юго-восточном и юго-западном направлениях от приемного пункта характер изменения ПЭС практически одинаков (рис. 7, а, б). Как уже упоминалось, сканирование показало, что основное направление, с которого поступает сигнал на РАО в вечернее время, – это юго-восток (рис. 6). Отсутствию экстремума сигнала, приходящего с юго-запада, может быть дано следующее объяснение.

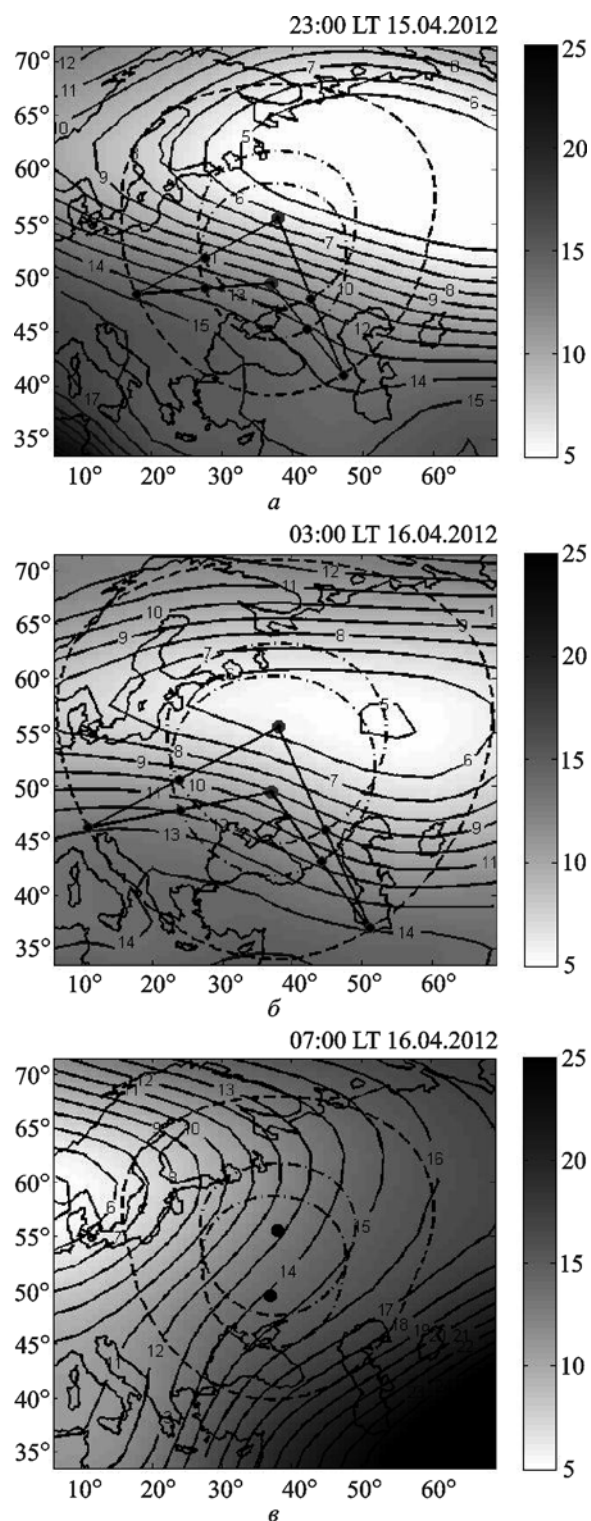


Рис. 7. ПЭС ионосферы в районе проведения эксперимента и возможные трассы распространения сигнала ВНЗ: а – 23:00 LT 15.04.2012 г.; б – 03:00 LT 16.04.2012 г.; в – 07:00 LT 16.04.2012 г.

Вечером освещенность ионосферы в восточном и юго-восточном направлении уменьшается раньше, чем в западном. Поэтому электронная концентрация в нижней ионосфере, где выполняется фотохимическое приближение, меньше, а значит и затухает ВЧ сигнал к востоку и юго-востоку от прямой трассы слабее, чем в западном направлении.

Несколько отличались характеристики сигнала в третью ночь измерений (рис. 4, в и рис. 5, в). В это время сигнал бистатического ВНЗ, обозначенный квадратами, принимался не постоянно и его интенсивность была сравнима или меньше интенсивности сигнала, приходящего с меньших дистанций, длина группового пути которого представлена звездочками. Спектр этого сигнала значительно шире спектра сигнала ВНЗ, а ДСЧ в рамках применяемой методики обработки зачастую было невозможно определить, так как его ширина превышала полосу анализа 5 Гц (рис. 8). Принимался сигнал с такими задержками в течение всей ночи в отличие от двух предыдущих ночей. Вероятно, он был обусловлен рассеянием на неоднородностях, расположенных на границе полярного овала. Длины группового пути от 2000 до 3000 км примерно соответствуют протяженности трассы станция РВМ – полярный овал – РАО. Большая интенсивность этого сигнала и несколько меньший групповой путь в ночь на 18.04.2012 объясняются магнитным возмущением, что подтверждается значениями индекса магнитной активности *am*, которые приведены в табл. 1 (данные взяты на сайте <<http://isgi.cetp.ipsl.fr/lesdonne.htm>>). Жирным шрифтом выделены значения индексов, соответствующих времени проведения измерений характеристик сигналов, результаты которых приведены на рис. 4 и рис. 5 (LT = UT + 3 ч).

Компонента сигнала, представленная треугольниками (рис. 4), становилась заметной в каждую ночь проведения эксперимента в предрассветные

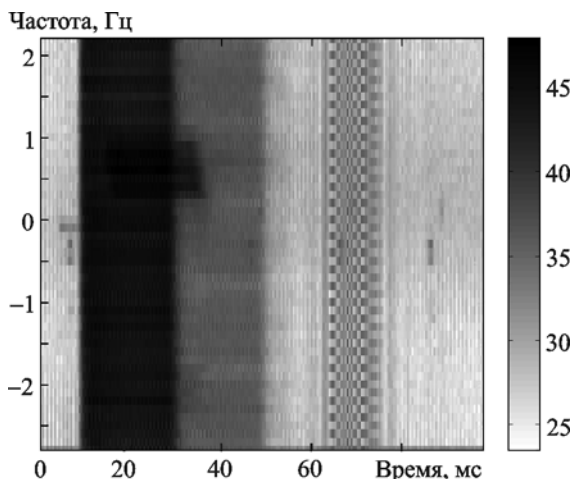


Рис. 8. Усредненная спектрограмма сигнала РВМ, полученная для периода 00:50–01:00 местного времени 18.04.2012 г. на частоте 9996 кГц

(на высотах ионосферы) часы примерно в одно и то же время (02:00–03:00 местного времени). По мере приближения к восходу ее мощность увеличивалась. Задержка соответствовала групповому пути $800 \div 1000$ км, что близко к длине трассы зеркального сигнала при отражении от слоя F. Эта компонента обусловлена рассеянием сигнала на мелкомасштабных ионосферных неоднородностях на прямой трассе.

Кроме перечисленных выше мод, 16 и 18 апреля примерно в одно и то же время были приняты сигналы с дистанций $11 \div 12.5$ тыс. км. В качестве примера на рис. 9, который отличается от рис. 4, а большим диапазоном измерения дальности, приведен групповой путь такого сигнала. Это результат кругосветного распространения предыдущих импульсов передатчика по обратной трассе, когда суммарная задержка эквивалентна пути в $41 \div 42.5$ тыс. км. Напомним, что длина обратной трассы станция РВМ – РАО по поверхности Земли составляет 39350 км, добавка в $1 \div 2.5$ тыс. км

Таблица 1. Значения индекса магнитной активности *am*

Дата	Время UT								Среднее за сутки
	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00	24:00	
15.04	4	9	8	9	9	5	15	9	8
16.04	6	8	2	2	10	9	6	10	6
17.04	9	3	18	16	21	16	32	17	16
18.04	32	23	23	9	10	9	8	14	16

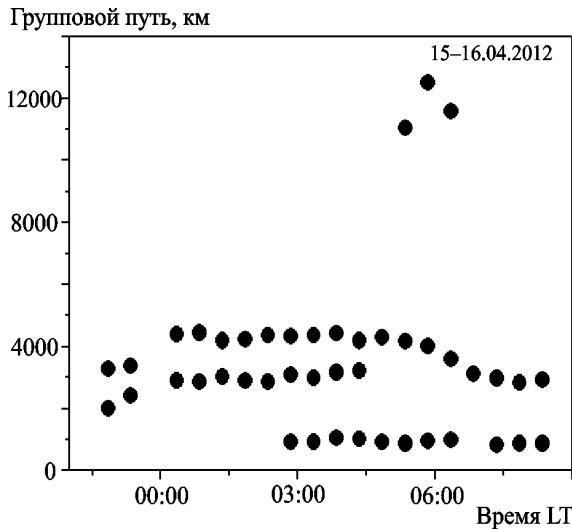


Рис. 9. Длина группового пути различных мод импульсного сигнала на частоте 9996 кГц на трассе антенны РВМ – РАО 15–16.04.2012 г.

может быть обусловлена большей протяженностью трассы на ионосферных высотах и/или многоскачковым распространением. Подтверждением правоты такой гипотезы является и время возникновения этой моды – раннее утро, когда солнечный терминатор практически одновременно проходил через приемный и передающий пункты, что значительно уменьшило потери при распространении сверхдальних и кругосветных сигналов [5].

4. Выводы

Разработана методика бистатистической частотно-временной локации глобальных ионосферных образований с использованием импульсного излучения станции точного времени и частоты. С помощью этой методики показано, что, когда рабочая частота сигнала превышает МПЧ для короткой радиотрассы, распространение электромагнитной энергии между передающим и приемным пунктами происходит несколькими модами со значительно отличающимися траекториями. Измерены длины группового пути, относительные интенсивности и ДСЧ различных составляющих сигнала.

Обнаружено, что определяющий вклад в энергию принятого сигнала вносят протяженные радиолинии, которые проходят не по дуге большого круга. В частности, при приеме сигналов РВМ в РАО в спокойной магнитной обстановке основной вклад обусловлен сигналами бистатистического ВЧЗ с юго-восточного направления, а во время повы-

шенной магнитной активности – сигналами, рассеянными на границе полярного овала.

Авторы благодарны проф. Ю. М. Ямпольскому за участие в обсуждении результатов, полученных в работе, и ряд полезных замечаний.

Исследования проведены при частичном финансировании в рамках НИР “Збурення” (Постановление Президиума НАН Украины № 160 от 26.05.2010 г.), при поддержке НТЦУ в рамках партнерского проекта Р-527, а также в рамках выполнения НИР “Шпицберген-2012” (номер госрегистрации 0112U004096).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Beley V. S., Galushko V. G., and Yampolski Yu. M. Traveling ionospheric disturbances diagnostics using HF signal trajectory parameter variations // *Radio Sci.* – 1995. – Vol. 30, No. 6. – P. 1739–1752.
2. Galushko V. G. and Yampolski Yu. M. Wave Field Diffraction near the Caustic and Ionospheric Diagnostics // *Radio Sci.* – 1996. – Vol. 31, No. 5. – P. 1109–1118.
3. Белей В. С., Галушко В. Г., Кащеев С. Б., Мельниковский П. А., Ямпольский Ю. М. Экспериментальные исследования угломестных и спектральных характеристик КВ-радиосигналов: Препр. / АН УССР. Ин-т радиофизики и электроники; № 248. – Харьков: 1984. – 19 с.
4. Брауде С. Я., Мень А. В., Содин Л. Г. Радиотелескоп декаметрового диапазона УТР-2 // *Антенны.* – М.: Связь. – 1978. – Вып. 26. – С. 5–15.
5. Гуревич А. В., Цедилина Е. Е. Сверхдальнее распространение коротких радиоволн. – М.: Наука, 1979. – 246 с.

С. Б. Кащеев, А. В. Залізівський, А. О. Сопін, І. І. Пікулік

Радіоастрономічний інститут НАН України,
вул. Червонопрапорна, 4, м. Харків, 61002, Україна

ЩОДО МОЖЛИВОСТІ БІСТАТИЧНОГО ВЧ ЗОНДУВАННЯ ІОНОСФЕРИ СИГНАЛАМИ ТОЧНОГО ЧАСУ

Виконано дослідження характеристик імпульсних ВЧ сигналів, які поширюються між радіостанцією РВМ (Московська обл., Росія) та приймальним пунктом Радіоастрономічної обсерваторії РІ НАНУ (Харківська обл., Україна) на частотах вище максимально застосовуваної частоти для прямої траси. У багатомодовому сигналі, прийнятому на неспрямовану антену, досліджено доплерівські зсуви частоти та час групового запізнення окремих складових. За допомогою гостроспрямованої антени виміряно азимутальні залежності потужності прийнятого сигналу. Показано, що поширення електромагнітної енергії між передавальним та приймальним пунктами здійснюється декількома різними трасами, що відрізняються довжиною, положенням у просторі та часом існування. Пропонується тлумачення часу групового запізнення окремих мод. Показано, що основна складова потужності прийнятого сигналу у спокійних геомагнітних умовах була сигналом двопозиційного зво-

ротно-похилого зондування з південно-східного напрямку. Під час магнітного збурення сигнали більшої потужності зумовлювалися розсіянням на межі полярного овалу.

*S. B. Kashcheyev, A. V. Zalizovski, A. A. Sopin,
and I. I. Pikulik*

Institute of Radio Astronomy, National Academy
of Sciences of Ukraine,
4, Chervonopraporna St., Kharkiv, 61002, Ukraine

ON THE POSSIBILITY OF BISTATIC HF IONOSPHERIC SOUNDING BY EXACT TIME SIGNALS

Characteristics of high-frequency signals that propagated
between the RWM radio station (Moscow region, Russia)
and Radio Astronomical Observatory (Kharkiv region, Ukraine)

at frequencies above the maximum usable frequency on direct path were investigated. The Doppler frequency shifts and group delay of individual components were investigated for the multi-mode signal received with the nondirectional antenna. The azimuthal dependence of received signal power was measured by a highly directive antenna. It is shown that the electromagnetic energy propagated between the transmitting and receiving points through several different paths, which differed in length, position and time of existence. An explanation of the group delay of individual modes and their existence time is proposed. It is shown that the main component of the received signal power is determined by the oblique back scatter sounding from the south-east and by scattering on the edge of the aurora oval during geomagnetic disturbances.

Статья поступила в редакцию 24.01.2013