

Суточные вариации СДВ радиоволн на среднеширотной трассе “Новосибирск-Улан-Удэ”

БАШКУЕВ Ю. Б., БУЯНОВА Д. Г., АДВОКАТОВ В. Р., БОЯРОВ А. Л.

Институт физического материаловедения СО РАН г. Улан-Удэ, Республика Бурятия, Россия

e-mail: buddich@mail.ru dbuy@mail.ru

В докладе рассмотрены суточные вариации амплитуды и дополнительной фазы сигнала РНС “Альфа” (РСДН-20) в зимнее-весеннее и летнее время на трассе “Новосибирск - Улан-Удэ” длиной ~ 1578 км, проходящей над сейсмоактивной Байкальской рифтовой системой.

С 2012 г. совместно с ИКФИА СО РАН проводятся мониторинговые измерения суточных вариаций амплитуды и фазы радионавигационной системы “Альфа”. Система Альфа состоит из трёх передатчиков, которые расположены в районе Новосибирска ($55^{\circ} 45' 22''$ с.ш., $84^{\circ} 26' 52''$ в.д.), Краснодара ($45^{\circ} 24' 12''$ с.ш., $38^{\circ} 09' 30''$ в.д.), Комсомольска - на Амуре ($50^{\circ} 04' 21''$ с.ш., $136^{\circ} 36' 34''$ в.д.). Эти передатчики излучают последовательности сигналов длительностью 3,6 с на основной частоте $F1 = 16 \text{ МГц}/1344 = 11,904 \text{ кГц}$ и дополнительных: $F2 = 17 \text{ МГц}/1344 = 12,649 \text{ кГц}$ и $F3 = 20 \text{ МГц}/1344 = 14,881 \text{ кГц}$. Для синхронизации временной диаграммы излучающих станций с диаграммой работы всей радионавигационной системы излучается сигнал на частоте $F3п = F3 + 5/36 \text{ Гц}$ станцией Новосибирск. Частотно-временная диаграмма работы РСДН-20 (“Альфа”) представлена на рис. 1. [1]

	Сегмент					
	1	2	3	4	5	6
Новосибирск	F1 11,904 кГц	F2 12,649 кГц	F3 14,881 кГц	F3п F3+5/36 Гц		
Краснодар	F3 14,881 кГц		F1 11,904 кГц	F2 12,649 кГц		
Хабаровск		F3 14,881 кГц	F2 12,649 кГц	F1 11,904 кГц		
		0,4 с	0,4 с	0,4 с		
	0,6 с	0,6 с	0,6 с	0,6 с	0,6 с	0,6 с
	Tц = 3,6 с					

Рис. 1. Частотно-временная диаграмма работы РНС “Альфа”

В Улан-Удэ ($51^{\circ} 51' 23''$ с.ш., $107^{\circ} 39' 06''$ в.д.), сигнал “Альфа” принимается на магнитную рамочную антенну, ориентированную восток-запад. На рис. 2 представлена блок-схема регистратора. Цифровой измерительный комплекс имеет опорный стандарт частоты на основе GPS приемника Trimble Thunderbolt-B с суточной нестабильностью частоты 10^{-12} .

Проведен детальный анализ суточных вариаций амплитуды и дополнительной фазы сигнала РНС “Альфа” на трассе “Новосибирск – Улан-Удэ” за 1-15 марта 2014 года ($f = 14,88 \text{ кГц}$), когда в средних широтах день примерно равен ночи (рис. 3 а, б).

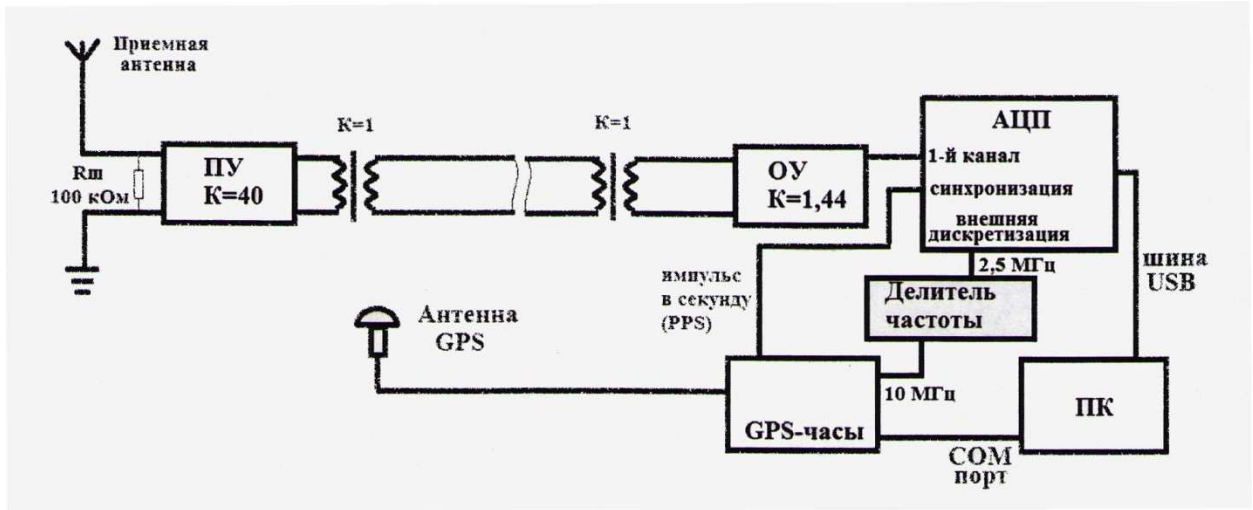


Рис. 2. Блок-схема регистратора амплитудно-фазовых вариаций РНС “Альфа”

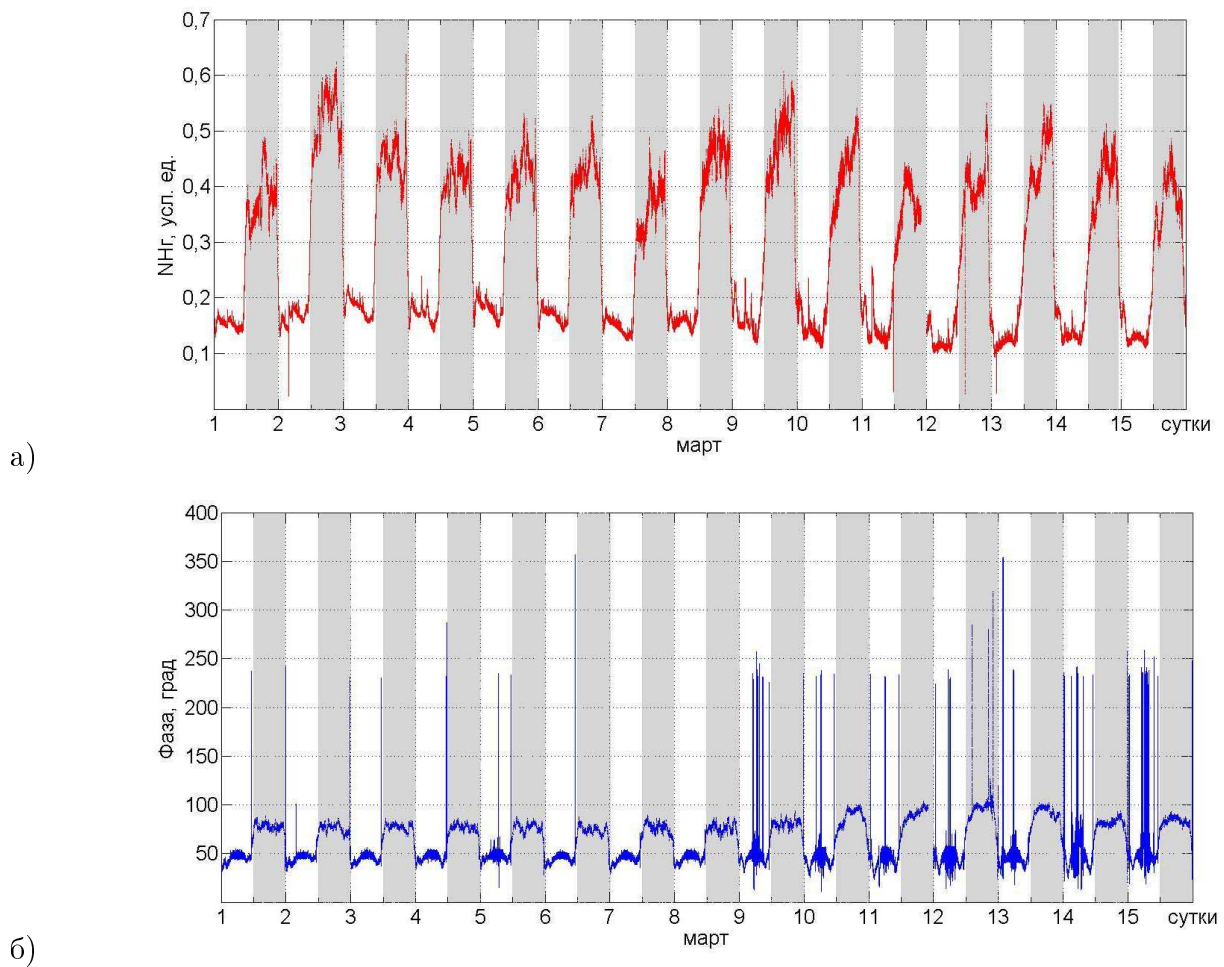


Рис. 3. Суточные вариации амплитуды (а) и дополнительные фазы (б) сигнала РНС “Альфа” на трассе “Новосибирск - Верхняя Березовка” за 1-15 марта 2014 года (ночное время - серый цвет).

Четко разделяются дневные и ночные уровни радиосигнала. Дневной уровень амплитуды сигнала в первой половине марта стабильный, в среднем от 0,1 до 0,22 условных единиц. В ночное время сигнал в среднем в 2,5 – 4 раза выше и изменяется от 0,3 до 0,6 условных единиц. Дополнительная фаза $\phi_{\text{доп}}$ имеет также закономерные регулярные суточные вариации в пределах от 50° до 100° . Уверенно разделяются дневные и ночные средние уровни фазы $\phi_{\text{доп}}$. Для дневных условий $\phi_{\text{доп}} = 55^\circ$, для ночных условий $\phi_{\text{доп}} = 80^\circ$. На графиках $\phi_{\text{доп}}$ (рис. 3) при заходе и восходе Солнца видны области кратковременной потери фазовой однозначности (“потеря фазы”), связанные, вероятно, с резкими изменениями уровня поля при прохождении линии терминатора, а также из-за воздействия хаотических импульсных помех естественного или техногенного происхождения. Дневные уровни дополнительной фазы с 9 по 15 марта имеют области сильных неоднократных кратковременных выбросов (скачков) фазы до 240-250 градусов. В ночное время эти выбросы наблюдаются только ночью 12 марта и достигают 360 градусов. Величина “шумовой” дорожки на амплитуде сигнала днем и ночью заметно различается. Она представляет аддитивную смесь флуктуационной и хаотической импульсной помехи и полезного ОНЧ сигнала.

На рисунке 4 представлены суточные вариации амплитуды сигнала с 19 по 31 марта 2015 г. на трассах “Новосибирск – Улан-Удэ” и “Краснодар – Улан-Удэ”. Длина трасс распространения, вычисленная по формуле [2]:

$$d = \arccos[\sin\varphi_j \sin\varphi + \cos\varphi_j \cos\varphi \cos(\lambda_j - \lambda)]$$

Новосибирск - Улан-Удэ составляет $d = 14,1741^\circ$ (~ 1578 км), Краснодар-Улан-Удэ - $d = 44,6095^\circ$ (~ 4966 км). Уровни принимаемого сигнала от более близкого излучателя в Новосибирске в 5-6 раз выше уровней сигнала из Краснодара.

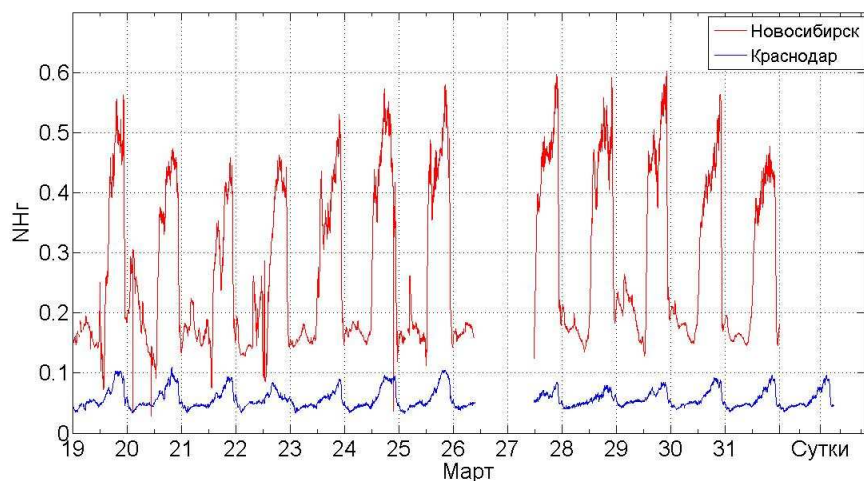


Рис. 4. Суточные вариации амплитуды сигнала 19 - 31 марта 2015 г. на трассах “Новосибирск– Улан-Удэ” и “Краснодар – Улан-Удэ”

Описанным выше приемно-регистрирующим комплексом ОНЧ сигналов с ориентацией плоскости рамочной антенны “север-юг” и перестройкой частоты приемника на 19,8 кГц получены вариации амплитуды и фазы радиосигналов в период солнечного затмения в Антарктиде и Австралии 29 апреля 2014 года. На рис. 5 показан суточный ход относительной амплитуды магнитной компоненты и дополнительной фазы радиосигнала австралийской станции NWC в период солнечного затмения на трассе “NWC –Улан-Удэ”. В начальный период затмения наблюдаются значительные вариации амплитуды и фазы из-за возможного воздействия на полезный сигнал изменений свойств волновода “Земля – ионосфера”.

Отчетливо видна восходно-заходная часть суточного хода дополнительной фазы сигнала и влияние естественных ОНЧ – излучений на трассе распространения, пересекающей Азиатский континент с юга на север почти по меридиану. На рис. 5 темной полосой показана общая продолжительность затмения: 03:52:38 - 08:14:28 UT (длительность - 4 часа 22 минуты).

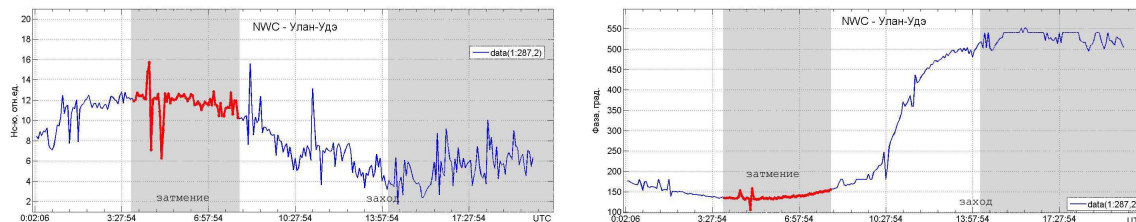


Рис. 5. Суточный ход относительной амплитуды магнитной компоненты и дополнительной фазы радиосигнала NWC в период солнечного затмения на трассе “NWC – Улан-Удэ” 29 апреля 2014 года, частота 19,8 кГц.

На рисунке 6 а, б представлены суточные вариации амплитуды и дополнительной фазы сигналов на трассах “Краснодар-Улан-Удэ” и “Новосибирск-Улан-Удэ” за 19-22 марта 2015 г. 20 марта произошло полное солнечное затмение, которое наблюдалось на севере Атлантического океана, фаза затмения в Краснодаре составляла – 0,45, в Новосибирске – 0,39. Эффект затмения на распространение радиоволн проявился в увеличении фазы сигнала станции Краснодар в период затмения (09:24 -11:27 UT), что свидетельствует в пользу того что на фазу волны влияют вариации ионизации и высоты отражения во время затмения. Во время прохождения затмения над Новосибирском (10:12-11:49 UT) наблюдались срывы фазы сигнала.

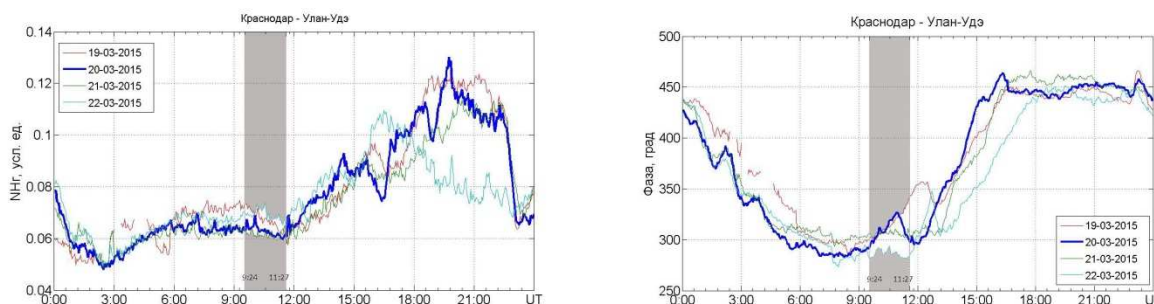


Рис. 6. Суточные вариации амплитуды и дополнительной фазы сигнала РНС “Альфа” на трассе “Краснодар-Улан-Удэ” 19-22 марта 2015 г. и в день затмения 20 марта 2015 г (темная линия).

Литература

1. Козлов В.И. Анализ вариаций ОНЧ-НЧ-СЧ-ВЧ электромагнитного поля на севере республики Саха (Якутия) в районе поселка Тикси в разные сезоны года: отчет о научно-исследовательской работе – Якутск: ИКФИА, 2015. 126 с.
2. Кинкулькин И.Е., Рубцов В.Д., Фабрик М.А. Фазовый метод определения координат. – М.: Сов.радио,1979. 280 с.