

УДК 621.371

ОЦЕНКА ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛОВ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА
НА МОРСКОЙ ТРАССЕ ПРИ МАЛЫХ УГЛАХ СКОЛЬЖЕНИЯ

Л. М. Лобкова, Н. И. Мишарева, В. М. Иськив,
В. В. Стельмах, А. В. Душенко

Представлены результаты экспериментального исследования флуктуации угла прихода, интенсивности сигналов, взаимной корреляции флуктуаций амплитуды и разности фаз сигналов на волне 8,3 мм в пространственно разнесенных антеннах для двух вариантов морской трассы протяженностью 14,5 км.

В последние годы происходит интенсивное освоение радиоволн миллиметрового диапазона (ММД) для решения ряда задач, связанных с созданием и совершенствованием линий связи с наземными, воздушными и космическими объектами.

Особый интерес представляют морские радиолинии. В любом из указанных применений необходимы тщательные исследования пространственно-временной структуры сигнала в месте приема. Обширный теоретический и экспериментальный материал обобщен Семеновым и Арсеньян [1] для случая распространения радиоволн на приземных сухопутных трассах, в СВЧ и оптическом диапазонах. В работе Разказовского и Кулемина [2] представлены результаты исследования с учетом влияния подстилающей поверхности суши и моря для радиоволн ММД. В работе [2] основное внимание уделено изучению закономерностей обратного рассеяния, а также исследованию статистических характеристик сигнала при малых углах скольжения. В целом ряде работ (например, [3 - 5]) отражены результаты исследования пространственно-временной структуры поля ММД и СМД (сантиметрового диапазона) на морских трассах. Однако открытым остается вопрос влияния соотношения между высотами передающей и приемной антенн на характеристики сигналов. Необходимые теоретические оценки можно было бы получить, воспользовавшись принципом взаимности, соответствующими для интерференционной структуры поля и меняя местоположение передатчика и приемника и их высоты. Однако при этом не учитывалось бы воздействие параметров приводного слоя атмосферы, рельефа

местности и береговой линии на распространение радиоволн. Вопрос о том, насколько оно существенно, может быть решен лишь на основании экспериментальных данных.

В настоящей работе приведена экспериментальная оценка влияния высот приемной и передающей антенн на флуктуации амплитуды и углов прихода радиоволн восьмимиллиметрового диапазона на морской трассе протяженностью 14,5 км при углах скольжения около 5 мрад.

Эксперименты проводились на волне $\lambda = 8,3$ мм с использованием однобазового интерферометра при двух вариантах геометрии трассы:

1) высота передающей антенны ($H_{\text{пд}}$) 59 м над уровнем моря, высота нижней приемной антенны интерферометра ($H_{\text{пр}}$) 7,5 м;

2) $H_{\text{пд}} = 7,5$ м, $H_{\text{пр}} = 65$ м.

Размер базы разнесения приемных антенн D был выбран порядка 100λ ($D=0,9$ м), близким к радиусу корреляции флуктуации амплитуды сигнала на тропосферных трассах [1].

Передающая и приемные антенны представляли собой параболоиды вращения с шириной диаграммы направленности по уровню половинной мощности 5° ; поляризация излучения и приема - круговая.

При оценке зависимости характеристик сигнала от геометрии трассы определяющим фактором для случая "гладкой" поверхности моря является интерференционная структура поля. В соответствии с критерием Рэлея это условие выполняется для исследуемых вариантов геометрии трассы при высоте морских волн менее 0,1 м.

Поскольку ширина интерференционного лепестка в I варианте составляет ~ 1 м, а во втором ~ 8 м, можно ожидать уменьшения дисперсии флуктуаций амплитуды сигналов и углов прихода радиоволн для второго варианта.

Это подтверждают результаты исследования отношения сигнал/шум (с/ш), определенного как отношение среднего значения амплитуды сигнала к его среднеквадратичному отклонению (СКО) (рис. 1), и интегральных законов распределения углов прихода радиоволн (рис. 2),

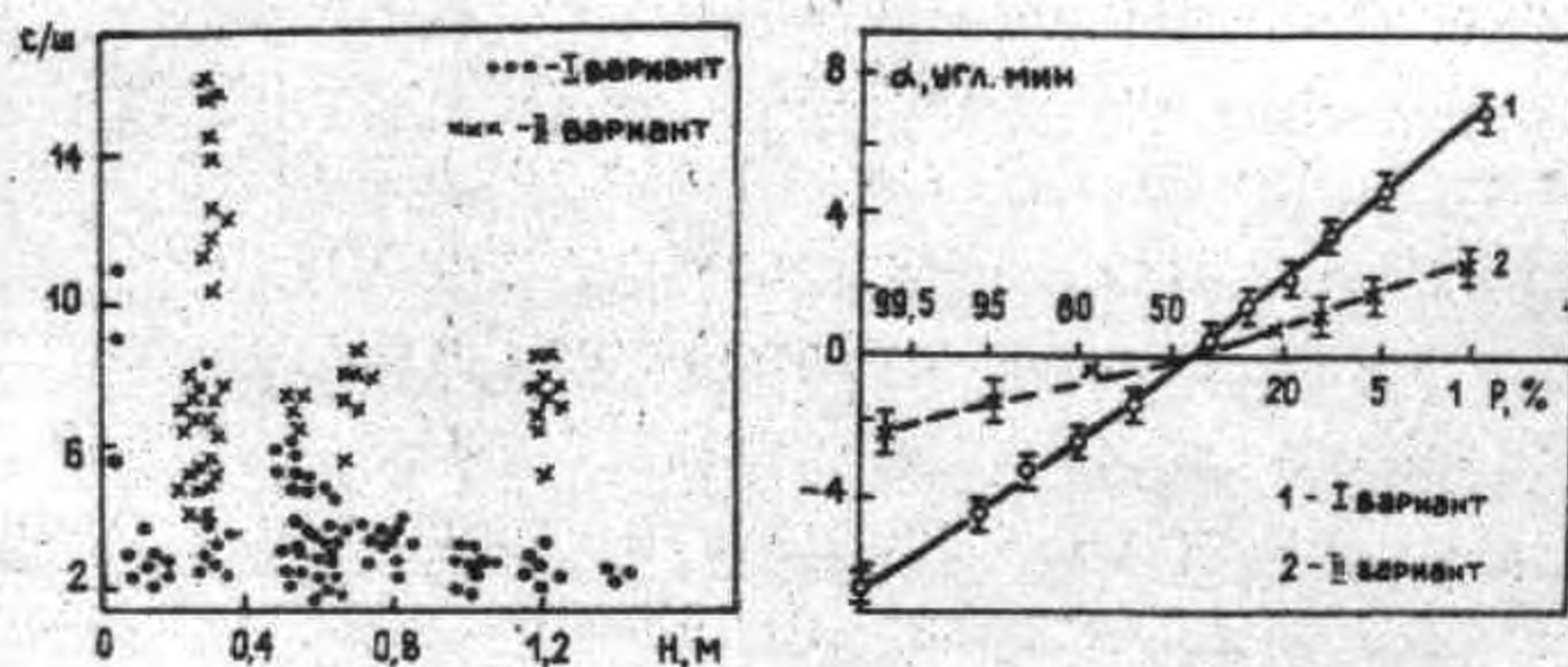


Рис. 1,2.

построенных относительно соответствующих медианных уровней; длительность реализаций составляла от одной до двух минут. Измерения выполнены в июле - августе 1988 г. в I варианте и в сентябре - октябре 1990 г. во II варианте. Вертикальными черточками показаны 95-процентные доверительные интервалы.

Как следует из рис. 1, величина с/ш уменьшается с ростом высоты волн H , и во II варианте в среднем в два раза больше, чем в I ($\overline{с/ш} = 8,5$ и 4 соответственно). СКО флуктуаций угла прихода в I варианте примерно втрое превышает СКО для II варианта (см. рис. 2). С точки зрения влияния турбулентности атмосферы на величину флуктуаций амплитуды и фазы сигналов оба варианта геометрии трассы равноценны, эксперименты проводились в сходных метеоусловиях. Следовательно, выявленные отличия статистических характеристик можно отнести только к влиянию интерференционной структуры поля. Учитывая, что, согласно критерию Рэлея, практически во всех исследованных случаях (см. величину H на рис. 1) морская поверхность была неровной, речь идет о проявлении кратковременной ("мгновенной") интерференционной структуры, определяющей размах изменения характеристик сигнала.

В пользу данного предположения говорят и результаты анализа взаимно корреляционных функций между флуктуациями амплитуд сигналов в разнесенных антеннах, представленные на рис. 3 - для I варианта, на рис. 4 - для II варианта. Знакопеременный характер величины коэффициента взаимной корреляции R_{AA} в первом случае (при одинаковой высоте морских волн) можно объяснить значительно большей, чем во втором случае, вероятностью попадания антенн интерферометра в смежные лепестки интерференционной структуры поля при изменении метеорологических условий, определяющих величину градиента g коэффициента преломления в приводном слое атмосферы.

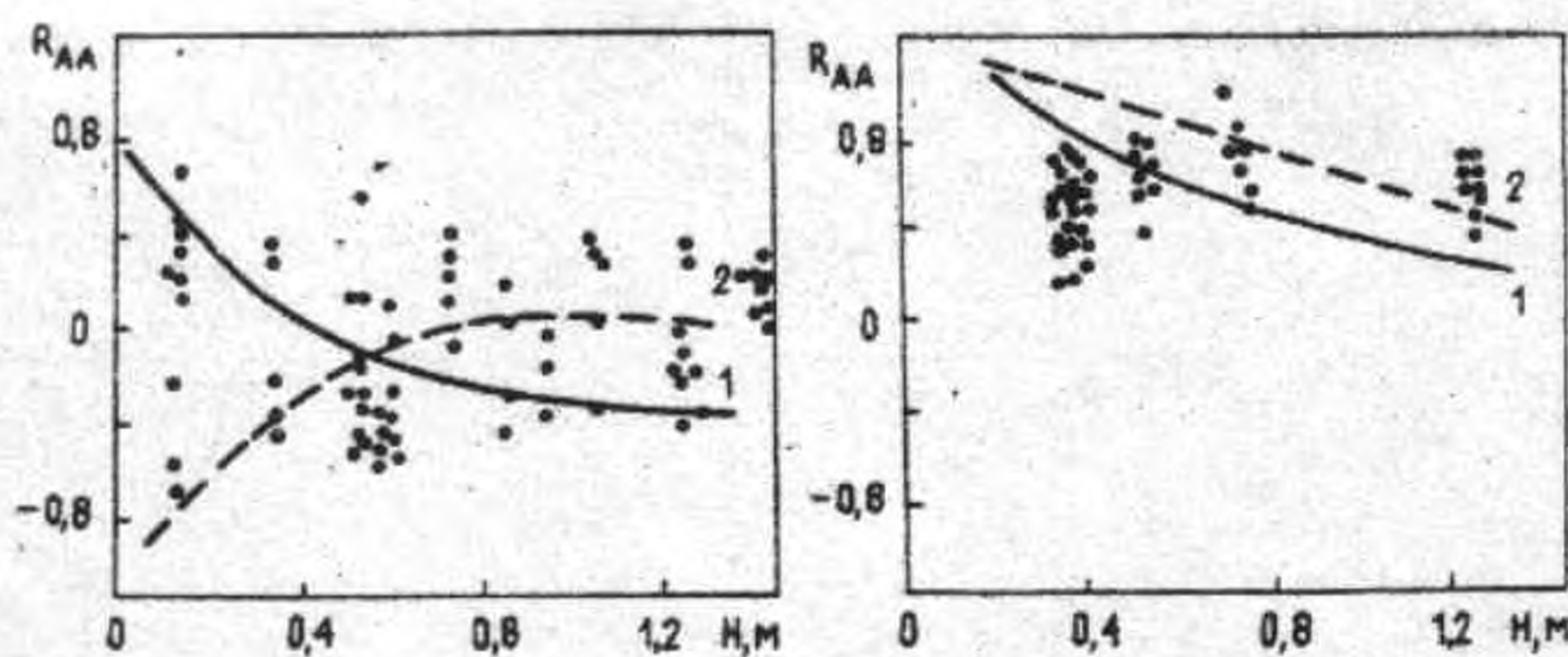


Рис. 3, 4.

На рис. 3, 4 приведены расчетные кривые 1 (при $\bar{g} = 0$) и 2 (при $\bar{g} = -0,04$ Н-ед/м), полученные с использованием двухлучевой модели сигнала при следующих допущениях:

1. Влияние морского волнения сведено к смещению уровня отражающей поверхности относительно среднего в пределах от $-H/2$ до $H/2$. Коэффициент взаимной корреляции R_{AA} между флуктуациями амплитуд сигналов в разнесенных приемных антеннах рассчитывался при разбиении диапазона изменения высоты отражающей поверхности на 40 интервалов для каждого фиксированного значения H .

2. Коэффициент зеркального отражения морской поверхности принят равным 0,7.

3. Градиент коэффициента преломления атмосферы принят постоянным на трассе.

Можно считать, что ход кривых 1 и 2 на рис. 3, 4 удовлетворительно согласуется с положением экспериментальных точек, особенно если учесть сложную реальную картину распределения градиента коэффициента преломления в приводном слое.

Достаточно близкими к экспериментальным можно считать и результаты расчетов, полученные с использованием изложенной методики, взаимно корреляционных функций между амплитудами сигналов в каждой из антенн и разностью фаз сигналов в антеннах (рис. 5, 6 для I и II вариантов соответственно). Условия для кривых 1 и 2 на рис. 5 и 6 те же, что и на рис. 3 и 4. Обращают на себя внимание высокие значения коэффициентов взаимной корреляции, достигающие по модулю 0,8, что значительно превосходит величины, наблюдавшиеся на тропосферных трассах [6].

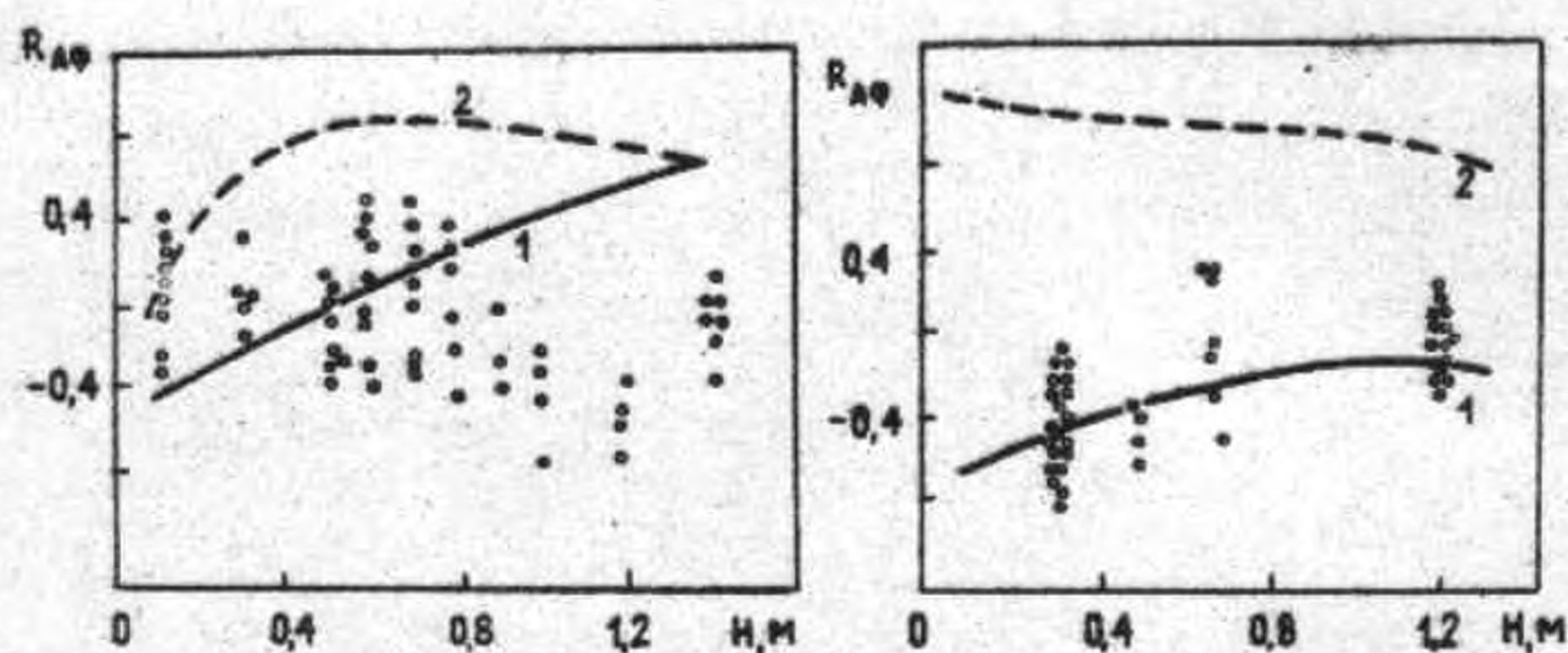


Рис. 5, 6.

На основании приведенных исследований можно сделать выводы:

1. При расчете трасс ММД, пролегающих над поверхностью моря, оценку характеристик сигнала на интервалах длительностью до двух минут можно получить с использованием двухлучевой модели сигнала при

любой высоте морских волн.

2. Радиусы корреляции флуктуаций амплитуды сигналов для реализаций длительностью до двух минут могут превышать 100 λ . Коэффициенты взаимной корреляции между флуктуациями амплитуд сигналов при фиксированном разнесении антенн увеличиваются с возрастанием высоты расположения приемных антенн.

3. Коэффициенты взаимной корреляции между флуктуациями амплитуды сигнала и разности фаз сигналов в разнесенных антеннах значительно выше, чем на сухопутных трассах, и при разнесении $\sim 100\lambda$ могут достигать величин $\pm 0,8$.

4. При выборе геометрии морской трассы для уменьшения флуктуаций амплитуды и углов прихода радиоволн целесообразно увеличивать высоту расположения приемника. Это позволит, в частности, расширить рабочий диапазон углов возвышения, которые могут использоваться в системах космической связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Семенов А. А., Арсеньян Т. И. Флуктуации электромагнитных волн на приземных трассах. - М.: Наука, 1978.
2. Кулемин Г. П., Разказовский В. Б. Рассеяние миллиметровых радиоволн поверхностью земли под малыми углами. - Киев: Наукова думка, 1987.
3. Лобкова Л. М., Надобенко А. И., Мишарева Н. И. //Изв. вузов. Радиофизика. 1985. Т. 28. N 12. С. 1505.
4. Лобкова Л. М., Михайлюк Ю. П., Мишарева Н. И., Стельмах В. В. // Изв. вузов. Радиофизика. 1987. Т. 30. N 8. С. 947.
5. Синицкий В. Б. //Изв. вузов. Радиофизика. 1976. Т. 19. N 9. С. 1285.
6. Захаров А. С., Тимофеев В. А. //В сб.: Труды III Всесоюзной школы по распространению миллиметровых и субмиллиметровых волн в атмосфере. - Харьков, 1989. С. 196.

Севастопольский приборостроительный
институт

Поступила в редакцию
6 мая 1991 г.

ESTIMATION OF SPACE-TEMPORARY MM BAND SIGNAL CHARACTERISTICS ON SEA PATH AT LITTLE ELEVATIONS

*L. M. Lobkova, N. I. Mishareva, V. M. Is'kiv, V. V. Stel'makh,
A. V. Dushenko*

Experimental results on radio wave amplitude and arrival angle fluctuations, correlation of fluctuations of amplitude and difference of phases at the wavelength of 8,3 mm are given for the spaced antennas obtained for the two variants of the sea path of 14,5 km length.