

УДК 621.371.029.65(260)

## СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЯ САНТИМЕТРОВЫХ И МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛН НАД ПОВЕРХНОСТЬЮ МОРЯ

*М. Г. Балан, С. Б. Беспечный, Н. В. Горбач, Ю. А. Педенко,  
В. Б. Разказовский*

Обсуждаются результаты экспериментальных исследований статистических характеристик прямого сигнала (диапазоны: 3,2 см, 8, 4 и 2 мм) при распространении над взволнованной поверхностью моря под малыми углами скольжения. Показано, что законы распределения флуктуаций амплитуд сигнала на короткой (0,75 км) трассе отличаются от райсовского и рэлеевского, которые являются более характерными для трассы большой протяженности (16 км). Проведено сравнение экспериментальных и расчетных значений коэффициента диффузного рассеяния при различных значениях параметра Рэлея. Проанализированы данные о взаимной пространственной корреляции флуктуаций амплитуд, что позволило выявить существенную анизотропию в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Развитие радиотехнических систем, работающих над морем в условиях влияния многолучевого распространения радиоволн; и разработка методов пространственно-временной обработки сигналов требуют детального изучения статистических свойств поля СВЧ над поверхностью моря при различных условиях. В настоящее время наиболее полно исследованы сантиметровый и более длинноволновый диапазоны, причем даже здесь отсутствуют достаточно полные данные и представления о пространственной корреляции поля и законах распределения амплитуд. Изучение этих вопросов в миллиметровом диапазоне практически не велось. Чтобы более полно выяснить механизм формирования поля над поверхностью, нами были проведены экспериментальные исследования в диапазоне волн от 3,2 см до 2 мм, охватывающие различные условия работы.

**1. Методика измерений и аппаратура.** Экспериментальные исследования проводились на двух проходивших над морем фиксированных трассах протяженностью 16 и 0,75 км, а также при установке передающего пункта на катере, двигавшемся радиальными курсами по отношению к приемному пункту до дальностей 7—8 км. Опыты на фиксированных трассах велись в диапазонах 3,2 см, 8 и 2 мм и охватывали три весенне-летних периода, а с катером — в диапазонах 8 и 4 мм в весенне-летний период. Волнение моря в период проведения опытов, в основном, было около 2—3 баллов. В опытах с фиксированной дальностью измерительный комплекс состоял из четырехканальной (либо двухканальной на волне 2 мм) приеморегистрирующей аппаратуры и комплекта передатчиков непрерывного излучения. Приемная аппаратура позволяла регистрировать с помощью многоканальных самописцев амплитуду сигнала одновременно во всех четырех (или двух на волне 2 мм) антеннах, разнесенных в вертикальном либо в горизонтальном направлениях. Антенны приемных систем каждого

из диапазонов отстояли друг от друга на равных расстояниях, которые могли дискретно изменяться. Основные характеристики трасс и приемно-передающих комплексов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Трасса	Фиксированная 16 км		Фиксированная 0,75 км			Катер	
	8мм	3,2см	2мм	8мм	3,2см	4мм	8мм
Высота приемной антенны, м	13	13	5,5	13	13	12	12
Угловая высота передающей антенны, град	0÷2,4	0÷2,4	2,7	0÷6	0÷30	0,5÷10	0,5÷10
Ширина ДН приемной антенны, град	32	190	9	32	190	9	22
Ширина ДН передающей антенны, град	350	350	30	350	350	350	350
Количество приемных антенн	4	4	2	4	4	1	1
Тип приемных антенн	Парабол. зеркало	Рупорная	Парабол. зеркало	Парабол. зеркало	Рупорная.	Парабол. зеркало	Парабол. зеркало
Расстояние между соседними приемными антеннами	90 λ	18 λ	145,5 λ	45 λ	7 λ	—	—
Направление электрической оси приемной антенны	На передатчик	На передатчик	На передатчик, на кромку берега, 9град ниже передатчика	На передатчик	На передатчик	На передатчик	На передатчик

Целью математической обработки экспериментальных данных являлось получение оценок законов распределения флуктуаций амплитуд сигналов, коэффициентов диффузного рассеяния и величины взаимной корреляции амплитуд поля при разнесении точек приема в пространстве. Для этого непосредственно по записям сигнала определялись его средняя амплитуда  $\langle A \rangle$ , средний квадрат амплитуды  $\langle A^2 \rangle$ , среднее произведение амплитуд для двух соседних каналов  $\langle A_j A_i \rangle$  ( $j$  и  $i$  — номера каналов, усреднение производится по времени). Затем вычислялся параметр  $Q = (\langle A^2 \rangle - \langle A \rangle^2) / \langle A^2 \rangle$ , характеризующий относительную мощность флуктуационной составляющей амплитуды и позволяющий сделать выводы о законах распределения флуктуаций сигнала и их параметрах. По значениям параметра  $Q$  и средних квадратов амплитуды по методике работы [12], кратко излагаемой далее, рассчитывались значения коэффициента диффузного рассеяния. Для сравне-

ния экспериментальных законов распределения с теоретическими строились гистограммы распределения замираний сигнала, нормированные на  $\langle A \rangle$  либо на  $\langle A^2 \rangle^{1/2}$ .

**2. Законы распределения флуктуаций амплитуд поля.** В настоящее время отсутствует единая точка зрения на закон распределения флуктуаций амплитуды сигнала при многолучевом распространении. Ряд авторов [2, 3, 12], основываясь на модели формирования компоненты за счет некогерентного рассеяния радиоволн на множестве неровностей поверхности раздела при постоянстве амплитуды и фазы зеркально отраженной волны, делали вывод о правомерности использования распределения Райса. В частном случае при работе в глубоких интерференционных минимумах последний вырождается в закон распределения Рэлея. Однако в работах [6, 7] установлено, что в некоторых условиях закон распределения флуктуации амплитуд отличается от закона Райса или Рэлея. Для объяснения этого явления в [6] предложена более полная модель суммарного поля, когда кроме диффузной компоненты в общепринятом значении этой величины присутствует конечное число дискретных сигналов  $N$ , интенсивность которых сравнима с прямым, входящим в их число, а фазовые соотношения случайны.

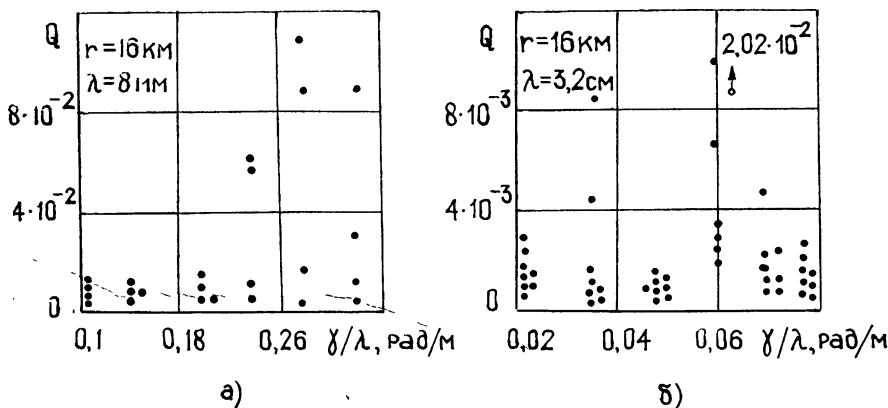


Рис. 1.

Плотность вероятности амплитуды при таких предпосылках является рэлеевской для  $N = 0$ , райсовской для  $N = 1$  и приближенно рэлеевской при  $N \geq 6$ . Для других значений  $N$  плотность распределений может сильно отличаться как от рэлеевской, так и от райсовской. В частности, из работы [6] следует, что наиболее глубокие замирания имеют место в случае  $N = 2$ .

Учитывая, что в наших экспериментах охватывались широкие пределы изменения длин волн и углов скольжения, можно ожидать проявления в разных условиях различных механизмов отражения от поверхности и, следовательно, соответствия полученных законов распределения амплитуды как модели работ [2, 3, 12], так и модели работы [6].

Рассмотрим приведенные на рис. 1а, б, 2а, б зависимости параметра  $Q$  от отношения угла скольжения  $\gamma$  к длине волны  $\lambda$ . Использование на них в качестве переменной соотношения  $\gamma/\lambda$  вместо параметра Рэлея  $\sigma_h \gamma/\lambda$  обусловлено отсутствием достоверных данных о среднеквадратичной высоте неровностей  $\sigma_h$  по всей трассе. Из этих рисунков видно, что при одинаковой геометрии трассы относительный уровень флуктуаций на волне 8 мм превосходит уровень флуктуаций на волне 3,2 см. На более короткой трассе отмечается усиление флуктуаций

сигнала, причем на волне 8 мм (рис. 2а) были случаи, когда величина  $Q$  превышала значение 0,215, являющееся предельным, при котором закон Райса переходит в закон Рэлея. Такое явление на волне 2 мм и трассе 0,75 км отмечалось нами ранее в работе [9], где в 30% всех исследованных случаев значение  $Q$  превосходило 0,215. Это может быть объяснено тем, что размеры отражающей области поверхности становятся соизмеримыми с горизонтальными размерами неровностей,

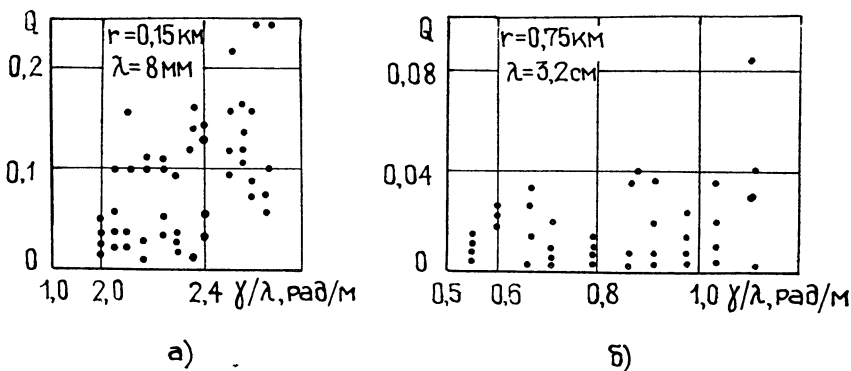


Рис. 2.

вследствие чего нарушается необходимое для законов Рэлея и Райса условие о множестве переотражателей на поверхности раздела. Поэтому можно предположить, что в каждый момент существует лишь одна

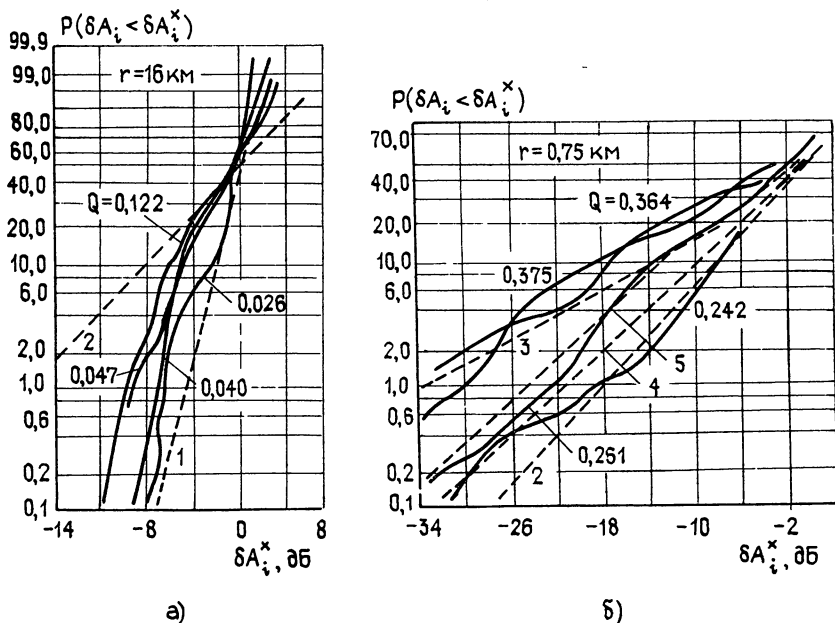


Рис. 3.

либо малое количество «блестящих точек», т. е. выполняются предпосылки работы [6]. В отличие от экспериментальной работы [7] в нашем случае из-за малой протяженности трассы (0,75 км) можно пренебречь влиянием тропосферы [10]. В пользу этого говорит и то, что период глубоких замираний измеряется секундами, в то время как в [7] он был порядка нескольких минут. Таким образом, в нашем случае уже нельзя говорить о существовании диффузного рассеяния в том

виде, как оно рассматривается в [1-5], так как нарушается основная предпосылка о множестве переотражателей на поверхности раздела. Для установления вида законов распределения были рассчитаны эмпирические интегральные законы распределения глубины замираний амплитуды сигнала ( $\delta A_i = A_i / \langle A^2 \rangle^{1/2}$ ), которые сравнивались с теоретическими, представленными штриховыми линиями (рис. 3а, б; здесь введено обозначение  $P(x < a)$  — выраженная в процентах вероятность того, что величина  $x$  меньше  $a$ ; 1 — закон Райса ( $Q = 0,029$ ); 2 — закон Рэлея; 3 — двухлучевая модель [11]; 4, 5 — двухлучевая модель в присутствии диффузного рассеяния [6]). Анализ графиков показывает, что вероятность глубоких замираний более 20 дБ, которые характерны для двухлучевой модели, тем выше, чем больше значение параметра  $Q$ . Все экспериментальные законы распределения для  $Q > 0,215$  попадают в область между рэлеевским законом и законом для двухлучевой модели. Для  $Q = 0,300 \div 0,375$  (волна 2 мм) экспериментальные данные наиболее близки к теоретической зависимости для двухлучевой модели. Экспериментальные результаты, полученные на длинной трассе, лежат в области, ограниченной рэлеевским и райсовским распределениями. При этом не зарегистрировано ни одного случая, когда величина  $Q$  превышала бы 0,215.

Таким образом, экспериментальные результаты, полученные на трассе протяженностью порядка 16 км, хорошо объясняются в рамках теоретической модели «блестящей поверхности» [3-5], в то время как на короткой трассе 0,75 км имеют место существенные отличия от модели.

**3. Коэффициент диффузного рассеяния.** Для определения по экспериментальным данным значений коэффициента диффузного рассеяния применялась методика, близкая к изложенной в [12]. В ее основе лежит предположение о том, что суммарное поле в точке приема представляет собой сумму стабильной составляющей, являющейся в свою очередь суммой невозмущенного поля и зеркальной компоненты, и диффузной (флуктуационной), имеющей нормальное распределение с нулевым средним. В этом случае амплитуда суммарного поля подчиняется закону распределения Райса, и может быть установлена функциональная связь между первыми двумя моментами исходных компонент поля и флуктуациями амплитуды принятого суммарного сигнала:

$$Q = \frac{\langle A^2 \rangle - \langle A \rangle^2}{\langle A^2 \rangle} = 1 - \frac{\{ \sqrt{\pi/2} [(1 + P_0) J_0(P_0/2) + P_0 J_1(P_0/2)] \exp(-P_0/2) \}^2}{2(1 + P_0)},$$

где  $P_0 = \langle A_{ст}^2 \rangle / \langle A_{ф1}^2 \rangle$  — отношение мощности стабильной к мощности флуктуационной составляющей,  $\langle A_{ст}^2 \rangle + \langle A_{ф1}^2 \rangle = \langle A^2 \rangle$ ,  $J_0(P_0/2)$  и  $J_1(P_0/2)$  — модифицированные функции Бесселя. Для  $P_0 \gg 1$   $Q \approx 1/(2P_0)$ .

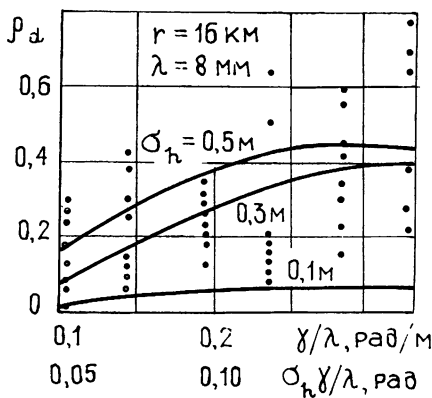
Коэффициент диффузного рассеяния  $\rho_d$  является отношением эффективного значения амплитуды флуктуационной составляющей поля  $[0,5 \langle A_{ф1}^2 \rangle]^{1/2}$  к эффективному значению амплитуды поля свободного пространства. Последняя может быть определена по экспериментальным данным следующими двумя способами без трудновыполнимых прецизионных калибровок передатчика, приемника и расчета ослабления, обусловленного поглощением в среде. Первый основан на том, что поле в интерференционных максимумах примерно вдвое превосходит поле в свободном пространстве. При втором способе используется гипотеза о том, что поле не поглощается в нижнем полупространстве,

а полностью рассеивается в верхнее. Вследствие этого мощность поля, принятого ненаправленной антенной, усредненная по интервалу высот, существенно превышающему ширину интерференционного лепестка, должна примерно вдвое превышать мощность поля в свободном пространстве. Для волны 3,2 см оба способа дают удовлетворительное совпадение результатов. Для волны 8 и 4 мм первый способ не годится, поскольку периодическая интерференционная структура на этих волнах выражена слабее, чем на волне 3,2 см, а сильное влияние тропосферной рефракции на условия распространения радиоволн миллиметрового диапазона [13] на трассе значительной протяженности приводит к тому, что форма интерференционного лепестка и положение его максимума могут изменяться в течение короткого промежутка времени порядка продолжительности опыта.

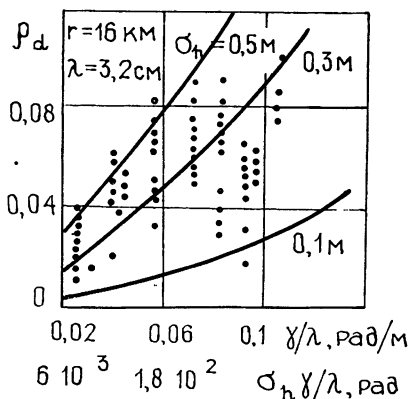
Амплитуду поля в свободном пространстве  $A_{св}$  можно определить через среднюю мощность сигнала  $A_{св} = \sqrt{\frac{1}{2N} \sum_1^N \langle A^2 \rangle}$ . Здесь  $N$  — количество точек пространства, в которых определялась величина  $\langle A^2 \rangle$ . Это либо точки высотного разреза при измерениях на фиксированной дальности, либо участки трассы в опытах с катером.

Математическая обработка экспериментальных данных показала, что, как и ожидалось, коэффициенты диффузного рассеяния на волне 8 мм выше, чем на волне 3,2 см. Это видно из рис. 4а, б, где представлены их зависимости от  $\gamma/\lambda$ . Тем самым подтверждается вывод об изменении соотношения между зеркальной и диффузной компонентами в пользу последней при переходе от сантиметровых волн к миллиметровым, сделанный в работах [3-5]. Такая особенность сохраняется и на трассе протяженностью 16 км при углах скольжения менее 2 мрад.

На этих же рисунках представлены зависимости  $\rho_d$  от  $\sigma_h(\gamma/\lambda)$  при различных среднеквадратичных значениях высоты неровностей  $\sigma_h$ , рассчитанные по работам [3, 5]. Значения  $\sigma_h$  взяты из [1, 2] для тех состояний морского волнения, которые по данным визуальных наблюдений существовали во время проведения обсуждаемых опытов.



а)



б)

Рис. 4.

Сравнение данных показывает, что для области значений параметра шероховатостей —  $\sigma_h(\gamma/\lambda) > 0,05$  наблюдается удовлетворительное качественное и количественное соответствие между расчетом и экспериментом. В области значений  $< 0,05$  экспериментальные точки лежат,

в основном, выше теоретических кривых, причем значения коэффициента диффузного рассеяния не стремятся к нулю при дальнейшем уменьшении параметра шероховатости, как это предсказывалось в работах [2, 3, 5], а имеют конечное значение, зависящее от условий эксперимента. Этот результат согласуется с данными, полученными авторами работы [16], в которой показано, что флуктуации сигнала на короткой надводной трассе при углах скольжения, близких к нулю, не убывают ниже некоторого значения. С другой стороны, в этой области углов скольжения может проявиться влияние тропосферных неоднородностей, которое будет оценено ниже.

На короткой трассе (волна 8 мм) и в опытах с катером (волна 4 мм) получены значения коэффициента диффузного рассеяния, превышающие теоретические для области значений параметра шероховатостей больше 0,1. Как отмечалось ранее, в этой области закон распределения флуктуаций амплитуды отличается от закона Райса, и следовало бы пользоваться более полной моделью работы [6], однако методика расчета параметров компонент для нее отсутствует.

В опытах с катером на волне 8 мм периодическая интерференционная структура была выражена слабо, а на волне 4 мм проследить ее не удалось, что свидетельствует о существенном уменьшении интенсивности зеркальной компоненты на миллиметровых волнах по сравнению с сантиметровыми.

#### 4. Взаимная пространственная корреляция флуктуаций амплитуд.

Анализ данных о коэффициентах взаимно-пространственной корреляции флуктуаций амплитуд показывает, что при разнесении приемных антенн в горизонтальном направлении даже при максимальном из применявшемся в опытах разnose значение этого коэффициента всегда положительно и лишь незначительно отличается от единицы (обычно находясь в пределах 0,9—0,95).

Значения коэффициента взаимной пространственной корреляции флуктуаций амплитуд поля при вертикальном разнесении, как видно из табл. 2, на трассе протяженностью 16 км для двух ближайших антенн положительны и лежат в пределах от 0,2 до 0,9; при увеличении расстояния между антеннами значения коэффициента корреляции становятся знакопеременными, что мешает проследить их закономерное уменьшение с ростом базы. На короткой трассе коэффициент корреляции имеет знакопеременный характер уже при минимальном расстоянии между антеннами.

Завершая обсуждение результатов, оценим возможное влияние тропосферы на флуктуации амплитуд СВЧ сигналов в условиях опытов. Воспользуемся результатами экспериментальной работы [14], в которой приведены данные о структурной постоянной показателя преломления  $c_n$  над морской поверхностью, и соотношением работы [15] для амплитудных флуктуаций:

$$\langle \chi^2 \rangle = 0,308 c_n^2 k^{7/6} r^{11/6},$$

$$k = 2\pi/\lambda,$$

где  $\langle \chi^2 \rangle$  — средний квадрат флуктуаций логарифма амплитуды. При  $\langle \chi^2 \rangle \ll 1$   $\langle \chi^2 \rangle \approx Q$ . Согласно [14] значения  $c_n$  лежат в пределах от 0,005  $N$  ед.см<sup>-1/3</sup> до 0,13  $N$  ед.см<sup>-1/3</sup> со средним значением 0,055  $N$  ед.см<sup>-1/3</sup>, причем эти данные относятся к тем же временам года и району, в которых проводились обсуждаемые нами исследования.

Оценки показывают, что на короткой трассе возможный уровень флуктуаций амплитуд, связанных с тропосферой, пренебрежимо мал по сравнению с полученными экспериментально ( $\langle \chi^2 \rangle \approx 10^{-5}$ ). Для трассы большой протяженности расчетные значения  $\langle \chi^2 \rangle$  ( $\approx 1,5 \cdot 10^{-2}$ ,  $\lambda = 8$  мм,  $\approx 2,7 \cdot 10^{-3}$ ,  $\lambda = 3,2$  см при максимальном  $c_n = 0,13 N$  ед.см<sup>-1/3</sup>)

имеют тот же порядок, что и значения параметра  $Q$  в некоторых опытах. Таким образом, для трасс большой протяженности при низкорасположенных корреспондирующих пунктах влияние тропосферы и подстилающей поверхности могут быть сравнимы, и это необходимо учитывать при интерпретации экспериментальных результатов.

Таблица 2

Волна 3,2 см, $d = 18\lambda$ , трасса 16 км							
Высота, м	1	7	13	19	25	31	
База $d$	0,89	0,79	0,60	0,00	0,84		0,26
$2d$	0,67	0,84	0,64	-0,37	0,83		0,18
$3d$	0,89	0,74	0,57	-0,54	0,72		0,17
Волна 8 мм, $d = 90\lambda$ , трасса 16 км							
Высота, м	1	7	13	19	25	31	39
База $d$	0,68	0,92	0,63	0,29	0,82	0,64	0,33
$2d$	0,53	0,77	0,02	0,02	-0,20	-0,53	-0,61
$3d$	0,58	0,63	-0,15	0,08	-0,62	-0,60	0,66
Волна 3,2 см, $d = 7\lambda$ , трасса 0,75 км							
Высота, м	0	3	6	9	12	15	
База $d$	0,50	0,20	0,46	0,23	0,34		-0,47
$2d$	0,64	-0,04	0,28	-0,34	-0,52		-0,20
$3d$	0,58	-0,36	0,14	-0,31	-0,13		-0,38
Волна 8 мм, $d = 45\lambda$ , трасса 0,75 км							
Высота, м	0,75	1,5	2,25	3	3,75	4,5	
База $d$	0,34	0,17	0,02	-0,22	-0,47		-0,18
$2d$	-0,30	-0,44	-0,32	-0,11	0,64		0,27
$3d$	-0,37	-0,10	0,16	-0,10	-0,17		-0,08

Однако в нашем случае вид экспериментальной зависимости  $\rho_d(\gamma/\lambda)$  (рис. 4а,б) указывает на рост относительных флуктуаций с высотой передатчика, что согласуется с предсказаниями теории для многолучевого распространения [3, 5]. Зависимость для  $\langle \chi^2 \rangle$  имеет обратный характер, так как значения  $c_n$  с ростом высоты уменьшаются [15]. На основании этого можно сделать вывод о том, что на трассе 16 км влияние отражений от поверхности раздела на уровень флуктуаций амплитуд СВЧ сигналов, как правило, доминировало над влиянием тропосферы, хотя, по-видимому, в определенных условиях, например при спокойном море, последний фактор может играть решающую роль.

1. Экспериментальные законы распределения флуктуаций амплитуд при работе на трассах значительной протяженности могут быть аппроксимированы райсовским, а в частных случаях рэлеевским, распределением. Этот результат согласуется с теоретической моделью работ [4, 5], предполагающих существование множества рассеивателей на поверхности. На коротких трассах (волны 8, 4, 2 мм) экспериментальные законы распределения, как правило, отличаются от райсовского или рэлеевского и приближаются к законам, имеющим место при малом



количестве отражателей [6, 11]. Такое отличие может быть объяснено тем, что на короткой трассе размеры отражающей области на поверхности становятся соизмеримыми с горизонтальными размерами ее неровностей. В этих условиях проявляется влияние интерференции нескольких интенсивных квазизеркальных отражений.

2. Значения коэффициентов диффузного рассеяния на трассе большой протяженности согласуются с расчетными при значениях параметра шероховатости более 0,05 и лежат выше расчетных при его значениях меньше 0,05. В миллиметровом диапазоне на короткой трассе экспериментальные значения коэффициента диффузного рассеяния, вычисляемые с использованием гипотезы работ [3-5] о распределении флуктуаций по закону Райса, превышают теоретические в области больших значений параметра шероховатости. Это может быть объяснено указанным выше несоответствием реального механизма отражения гипотезе, положенной в основу расчета.

3. Коэффициенты взаимной пространственной корреляции в горизонтальной плоскости всегда положительны и лишь незначительно отличаются от единицы даже при максимальном расстоянии между приемными антеннами, а в вертикальной плоскости — знакопеременны.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по радиолокации / Пер с англ — М: Сов радио, 1976, т. 1.
2. Бартон Д, Вард Г. Справочник по радиолокационным измерениям. / Пер. с англ.— М. Сов. радио, 1976.
3. Бартон Д — ТИИЭР, 1974, 62, № 6, с. 37.
4. Басс Ф Г, Фукс И М Рассеяние волн на статистически неровной поверхности. — М: Наука, 1972.
5. Beckman P, Spizzichino A The Scattering of EM waves from Rough Surfaces — N. Y.: Pergamon Press, 1963
6. Жао Жань-Цзин, Эльбаум М.— ТИИЭР, 1978, 66, № 7.
7. Яноуе Т., Акиума Т.— IEEE Trans., 1974, AP-22, p. 557.
8. Синицкий В Б — Изв. вузов — Радиофизика, 1976, 19, № 9, с 1285.
9. Балан М. Г., Беспечный С Б., Горбач Н В, Педенко Ю А., Разсказовский В Б. и др. Препринт ИРЭ АН УССР № 132 — Харьков, 1979.
10. Андреев Г. А, Черная Л Ф Тезисы докладов и сообщений Всесоюзного симпозиума по приборам, технике и распространению миллиметровых и субмиллиметровых волн в атмосфере — М: ИРЭ АН СССР, 1976, с 223.
11. Norton K. A, Vogler L. E, Mansfield W. V, Short P. J — Pros. IRE, 1955, 43, № 10, p 1354.
12. Beard C. J — IRE Trans. Ant and Propag, 1961, AP-9, № 5, p. 470.
13. Бин Б. Р, Даттон Е. Дж. Радиометрология — Л: Гидрометеиздат, 1971.
14. Дорфман Н. А и др — Изв АН СССР. Сер. Физика атмосферы и океана, 1978, 14, № 5, с. 549.
15. Татарский В. И Распространение волн в турбулентной атмосфере — М.: Наука, 1967
16. Гонтарь И. Д. и др.— Изв вузов — Радиофизика, 1973, 16, № 5, с 502.

Институт радиофизики и электроники  
АН УССР

Поступила в редакцию  
14 сентября 1981 г,  
после доработки  
23 июня 1982 г

#### STATISTICAL CHARACTERISTICS OF THE FIELD OF CENTIMETER AND MILLIMETER WAVELENGTHS ABOVE THE SEA SURFACE

*M. G. Balan, S. B. Bespechnyj, N. V. Gorbach,  
Yu. A. Pedenko, V. B. Razskazovskij*

Experimental results are discussed of statistical characteristics of the direct signal field (wave ranges: 3,2 cm, 8, 4 and 2 mm) when propagating above the ruffled sea surface at small slip angles. It is shown that laws of signal amplitude fluctuation distribution on a short trace (0,75 km) differ from the Rice and Rayleigh ones which are more typical for the traces of large extension (16 km). A comparison is made of experimental and calculation values of the diffuse scattering coefficient at different values of the Rayleigh parameter. Data have been analysed on mutual spacial correlation of the amplitude fluctuations that permits one to find an essential anisotropy in the horizontal and vertical planes.