

# РАСПРОСТРАНЕНИЕ И РАССЕЯНИЕ ВОЛН

УДК 621.371(260).029.64

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТРАЖЕННЫХ ОТ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ СИГНАЛОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ УСЛОВИЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН САНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

И. М. Мыценко, С. И. Хоменко

*Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины  
12, ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина  
E-mail: [ire@ire.kharkov.ua](mailto:ire@ire.kharkov.ua)*

Приведен обзор работ по проблеме исследований. Определены экспериментальные средняя и удельная эффективные площади рассеяния для предельных расстояний обнаружения отражения от морской поверхности при различных условиях распространения радиоволн сантиметрового диапазона. При этом основное внимание уделено загоризонтной области. Установлена связь для загоризонтной радиолокационной станции между размером зоны «засветки» и дальностью обнаружения надводных объектов. Сделаны выводы, что отражения от морской поверхности могут быть использованы для оперативной диагностики условий распространения радиоволн см диапазона в загоризонтной области. Ил. 10. Табл. 2. Библиогр.: 18 назв.

**Ключевые слова:** волновод испарения, множитель ослабления, эффективная площадь рассеяния.

Одной из основных задач исследований по распространению радиоволн над морской поверхностью является диагностика величины множителя ослабления радиоволн  $V$  в точке приема, а в прикладных задачах – дальности действия радиотехнических устройств с конкретными параметрами. Исследования, проведенные за рубежом, позволили создать американскую систему прогнозирования рефракционных эффектов *IREPS* [1, 2]. Она разработана как корабельная система для оценки и последующего использования изменений зоны действия радиолокационной станции (РЛС), средств радиоэлектронного подавления и систем радиосвязи, возникающих при наличии аномального распространения радиоволн. Один из недостатков этой системы – то, что она не учитывает горизонтальные вариации показателя преломления, а другой – применение метода геометрической оптики, тогда как в случае приповерхностных волноводов используется строгое волноводное уравнение или его одномодовая модель. Данные о среде распространения получают преимущественно с помощью радиозондов, недостатки применения которых общеизвестны.

В результате теоретических и экспериментальных работ, проведенных ИРЭ НАНУ, создана программная система диагностики условий распространения радиоволн [3] и методика диагноза и прогноза, основанная на эмпирических данных [4, 5]. Проведены также исследования радиолокационных сигналов, рассеянных морской поверхностью в диапазоне СВЧ [6]. Создана модель распространения сантиметровых (см) радиоволн в волноводе испарения над взволнованной морской поверхностью [7].

Тем не менее, несмотря на многочисленные исследования условий распространения ра-

диоволн и наличие методик диагноза и прогноза, отсутствует достаточно простая методика оперативного диагноза, не требующая дополнительных сведений о среде распространения и дорогостоящей аппаратуры.

Как показали радиофизические исследования в районах Мирового океана [8], условия распространения радиоволн см диапазона прежде всего зависят от наличия волновода испарения, который является определяющим механизмом распространения радиоволн этого диапазона над морской поверхностью [9]. Волноводы испарения фактически постоянно возникают непосредственно над поверхностью океана при наличии быстрого спада влажности с высотой и простираются от своей верхней границы до поверхности. По этим причинам можно предположить, что взволнованная морская поверхность будет наблюдаться радиолокационными станциями тем дальше, чем лучше условия распространения радиоволн. Наибольший интерес представляет использование отраженных от морской поверхности сигналов для диагностики условий распространения радиоволн см диапазона и дальности действия судовых навигационных РЛС, большинство которых работает в этом диапазоне.

Исследованию связи условий распространения радиоволн с дистанционной зависимостью интенсивности отражений от морской поверхности с их характером посвящен целый ряд работ. Например, в работе [10] представлена дистанционная зависимость интенсивности отражений от морской поверхности в см диапазоне радиоволн ( $\lambda = 11$  см рис. 1, а). Эта зависимость получена с помощью высокопотенциальной РЛС на Черном море в 1974 г. На рисунке видны осцилляции интенсивности отражений от моря, которые можно

предсказать теорией распространения в много-модовом волноводе. Сделаны выводы, что сигналы за счет отражений от моря по мере увеличения дистанции изменяют свой характер, создавая почти непрерывный шумоподобный фон в ближней освещенной области с переходом к дискретной структуре в зоне радиогоризонта и в зоне «тени».

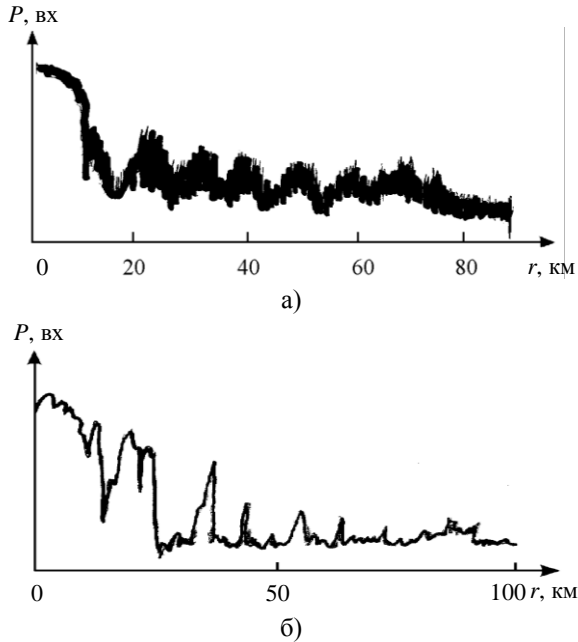


Рис. 1. Дистанционные зависимости интенсивности отражений от морской поверхности: а) –  $\lambda = 11$  см; б) –  $\lambda = 35$  см

Такая же картина наблюдается и в дециметровом диапазоне радиоволн ( $\lambda = 35$  см, рис. 1, б). Эта зависимость получена с помощью высокопотенциальной РЛС П15 и обязана своей формой, скорее всего, инверсионному слою.

В работах [11, 12] отмечается, что самостоятельный интерес представляет использование радиолокационных отражений от морской поверхности для изучения загоризонтного распространения радиоволн. В этих работах сообщается о результатах радиофизических исследований, которые позволили получить данные о пространственных изменениях уровня радиолокационных отражений при наличии приповерхностного волновода испарения. На рис. 2 приведены характерные дистанционные зависимости интенсивности отражений для длин волн 3 и 10 см для различных случаев условий распространения радиоволн, включая сверхрефракцию. Проведено сопоставление с модельными расчетами. Сделан вывод, что рефракция оказывает определяющее влияние на уровень радиолокационных отражений в загоризонтной области, а мелкомасштабные биения зависимостей обусловлены параметрами волнения. Однако применение малопотенциальной РЛС не позволило авторам в полной мере прове-

сти исследования в загоризонтной области. Кроме этого, в рассмотренных работах не ставилась задача использования отраженных от морской поверхности сигналов для оперативной диагностики дальности действия судовых навигационных РЛС.

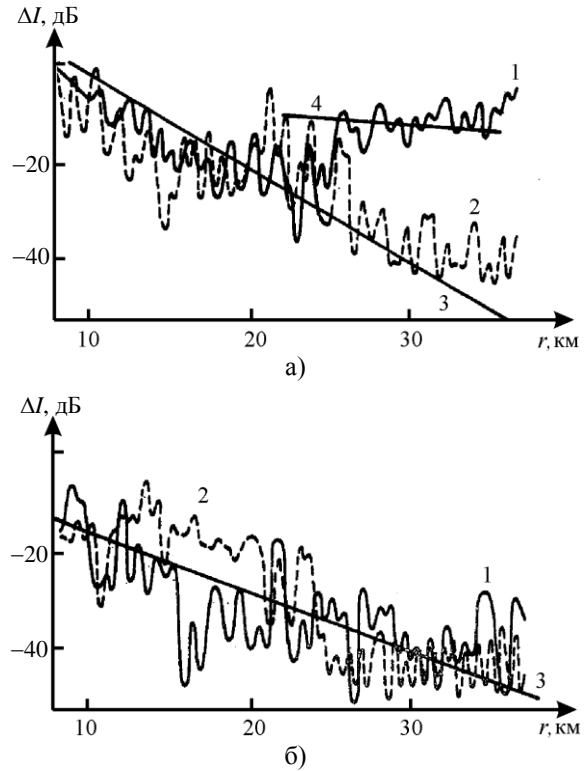


Рис. 2. Дистанционные зависимости интенсивности отражений от морской поверхности а) –  $\lambda = 3$  см; б) –  $\lambda = 10$  см

В наших работах [13, 14] приведены зависимости размеров зоны «засветки» отражениями от морской поверхности и дальности действия высокопотенциальной РЛС «МРЛ-5» в 3- и 10-см диапазонах. Сделаны выводы о возможности диагностики дальности действия судовых радиотехнических устройств. В приведенных работах не дана оценка влияния волнения моря на размеры зоны «засветки», определяющего достоверность и точность предлагаемого метода диагноза.

Целью данной работы является исследование возможности использования отраженных от морской поверхности сигналов для оперативной диагностики условий распространения радиоволн см диапазона.

Для решения поставленной задачи необходимо оценить влияние эффективной площади рассеяния (ЭПР) морской поверхности на размеры зоны «засветки» или, по-другому, на дальность обнаружения отраженных от морской поверхности сигналов при различных условиях распространения радиоволн. Как известно [6, 15–17] ЭПР морской поверхности зависит от целого ряда

факторов: высоты волн, скорости ветра и его направления относительно направления излучения, угла скольжения и т. д.

В угловой зависимости удельной ЭПР морской поверхности можно выделить три характерные области: квазизеркальную, область «плато» и интерференционную, причем для решения поставленных в статье задач наибольший интерес представляет последняя. При увеличении расстояния и уменьшения углов скольжения  $\Psi$  до нескольких градусов величина удельной ЭПР быстро снижается. В этом диапазоне углов ЭПР меняется пропорционально  $\psi^4$ , причем переход от области «плато» к интерференционной происходит при некотором критическом угле  $\Psi_{кр}$ , величина которого зависит от длины волны и состояния морской поверхности. Отмечено, что на волне в 3 см при  $\Psi < \Psi_{кр}$  в условиях стандартной рефракции выполняется зависимость  $\sigma^\circ \sim \Psi^4$ , в то время как при повышенной рефракции и углах скольжения менее  $0,1^\circ$  выполняется зависимость  $\sigma \sim \Psi$ . В этих условиях действительный угол скольжения оказывается больше определяемого из геометрических соображений и приводит к увеличению удельной ЭПР:

$$\sigma_0 = k \left[ \frac{\psi_\Gamma + h}{2\psi_\Gamma \text{grad } n} \right], \quad (1)$$

где  $k = \text{const}$ ,  $h$  – высота размещения антенны,  $\psi_\Gamma \approx h/r$  – геометрический угол скольжения;  $\text{grad } n$  – градиент показателя преломления.

Антенные системы расположены на судах, в основном, на высотах  $h = 20 \dots 25$  м. При этом геометрический угол скольжения на расстоянии 20 км (радиогоризонт при нормальной рефракции)  $\Psi = 20 - 25 / 20000 = 0,001 - 0,00125$  рад ( $0,0573 - 0,072^\circ$ ). Как видим, угол скольжения  $\Psi < 0,1^\circ$ , следовательно, на границе радиогоризонта в условиях стандартной рефракции  $\sigma \sim \Psi^4$ , а при повышенной рефракции  $\sigma^\circ \sim \Psi$ . Для определения средней ЭПР отраженных от морской поверхности на границе зоны «засветки» для реальных условий распространения радиоволн обратимся к основному уравнению радиолокации

$$r = \sqrt[4]{P_{\text{изл}} G^2 \lambda^2 \sigma V^2 / (4\pi)^3 P_{\text{ш}}}, \quad (2)$$

где  $P_{\text{изл}}$  – излучаемая мощность передатчика;  $G$  – коэффициент усиления антенны;  $\lambda$  – длина волны;  $V = \frac{P}{P_0}$  – множитель ослабления радиоволн;

$\sigma$  – ЭПР;  $P$  – мощность сигнала на входе приемника при распространении в реальных условиях;  $P_0$  – мощность сигнала, которая была бы принята приемником в свободном пространстве;  $P_{\text{ш}}$  – чувствительность приемного устройства.

Энергопотенциал РЛС обозначим через  $C = \frac{P_{\text{изл}} G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 P_{\text{ш}}}$ , тогда

$$r = \sqrt[4]{C \sigma V^2} = C^{1/4} \sigma^{1/4} V^{1/2}. \quad (3)$$

Как видно из основного уравнения радиолокации, дальность действия радиолокатора  $r$  имеет большую зависимость от множителя ослабления  $V (r \equiv \sqrt{V})$ , чем от ЭПР ( $r \equiv \sqrt[4]{\sigma}$ ) и энергопотенциала станции ( $r \equiv \sqrt[4]{C}$ ).

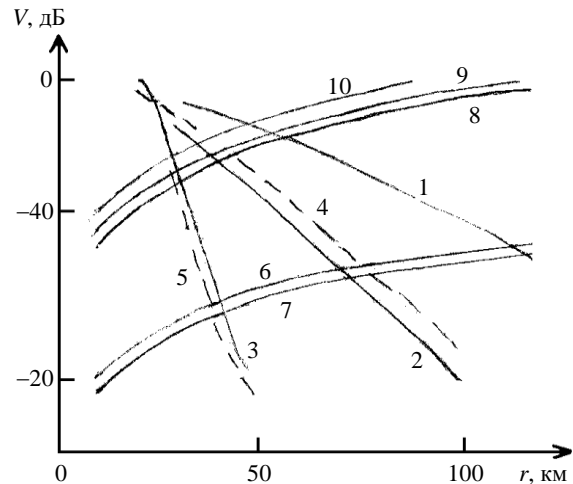


Рис. 3. Дистанционные зависимости множителя ослабления 3- и 10-см диапазонов при различных условиях распространения радиоволн

Определим дальности обнаружения отражений от морской поверхности, воспользовавшись уравнением (3) и реальными дистанционными зависимостями  $V(r)$  множителей ослабления (рис. 3).

Решим систему уравнений

$$\begin{cases} r_0 = C^{1/4} \sigma^{1/4} V^{1/2} & \text{при } \sigma = \text{const}; \\ V(r) & \text{при } C = \text{const}. \end{cases} \quad (4)$$

Уравнение (4) представляет собой зависимость предельной дальности обнаружения отражений от морской поверхности  $r_0$  от множителя ослабления  $V$  при  $\sigma = \text{const}$  и  $C = \text{const}$ .  $V(r)$  – реальные дистанционные зависимости множителя ослабления (см. рис. 3), которые были определены в момент проведения исследований [5]. Система уравнений является трансцендентной и не имеет аналитического решения. На рис. 4 показано ее графическое решение для РЛС «МРЛ-5». ( $C_{\lambda=3 \text{ см}} = 214$  дБ и  $C_{\lambda=10 \text{ см}} = 216$  дБ и  $\sigma = 0,001; 0,1; 1; 10; 100; 1000 \text{ м}^2$ ). Пересечение зависимостей  $V(r)$  и  $r_0 = f(V)$  при  $C$  и  $\sigma = \text{const}$  дадут нам предельные дальности обнаружения отражений от морской поверхности при различных условиях распространения радиоволн.

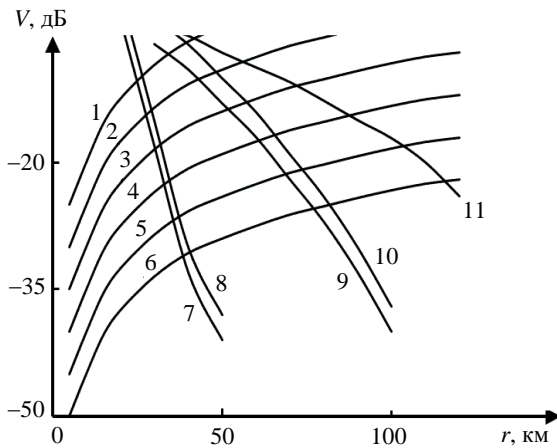


Рис. 4. Зависимость предельных значений размеров зоны «засветки»  $r_0$  от множителя ослабления при различных условиях распространения радиоволн

Кривая 1 ( $\lambda = 3,2$  см) соответствует наличию волновода испарения с высотой  $h_0 =$

$= 10 \dots 12$  м, кривая 2 – ( $\lambda = 3,2$  см) – с  $h_0 = 6 \dots 8$  м, кривая 3 – ( $\lambda = 3,2$  см) с  $h_0 = 2 \dots 4$  м, кривая 4 ( $\lambda = 10$  см) соответствует волноводу испарения с  $h_0 = 10 \dots 12$  м, кривая 5 ( $\lambda = 10$  см) –  $h_0 = 2 \dots 4$  м. Зависимости  $r_0 = f(V)$  для  $\lambda = 3,2$  см показаны сплошными линиями, а для  $\lambda = 10$  см – пунктирными. Полученные результаты сведены в табл. 1, в которой приведены также и результаты экспериментальных исследований размеров «зоны засветки». Как видим из табл. 1, при сопоставлении расчетных и экспериментальных значений наибольшее совпадение наблюдается при  $\sigma = 0,01 \dots 0,1$  м<sup>2</sup> (отмечено \*) в условиях высокого волновода (кривая 1), среднего волновода (кривая 2), совпадение наблюдается при  $\sigma = 0,01 \dots 0,001$  м<sup>2</sup>, в условиях низкого волновода (кривая 3) при  $\sigma \leq 0,001$  м<sup>2</sup>. Для 10-см диапазона в условиях среднего волновода (кривая 4) наибольшее совпадение наблюдается при  $\sigma \leq 0,001$  м<sup>2</sup>, при низком волноводе –  $\sigma < 0,001$  м<sup>2</sup>.

Таблица 1

Параметры зоны «засветки» при различных условиях распространения радиоволн

Тип зависимости $V(r)$ , (рис. 3)	Размеры зоны «засветки» $r_0$ «МРЛ-5», км					Примечание
	$r_0, \lambda = 3$ см			$r_0, \lambda = 10$ см		
	1	2	3	4	5	
ЭПР, м <sup>2</sup>						
0,001	30	26*	24*	32*	22*	
0,01	45*	35*	28	41	26	
0,1	55*	43	30	48	28	
1	70	52	33	57	31	
10	85	60	35	66	33	
100	100	69	37	75	36	
1000	114	78	40	83	41	Волнение моря 2–5 баллов
Усредненные экспериментальные размеры зоны «засветки», км	50	30	20	25	18	
Площадь $S_r$ , м <sup>2</sup>	65416	39250	26166	98125	70650	
Удельная ЭПР $\sigma_0$	$8,4 \cdot 10^{-7}$	$1,4 \cdot 10^{-7}$	$3,8 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$1,4 \cdot 10^{-8}$	

Полученные значения зависят от облучаемой площадки поверхности моря, а следовательно, от параметров диаграммы направленности антенны и длительности излучаемого импульса «МРЛ-5». При использовании полученных результатов для других РЛС необходимо перейти к более общей характеристике ЭПР, безразмерной удельной ЭПР  $\sigma_0$ , которая равна средней ЭПР, деленной на площадь облучаемой площади поверхности моря. Определим площадь облучаемой площадки поверхности моря, для реальных дальностей обнаружения отражений (см. табл. 1).

Рассмотрим случай, когда ось диаграммы направленности РЛС касательна к горизонту.

При низко расположенной антенне и сравнительно большом расстоянии до цели ( $r \gg h_a$ , что и имеет место) одновременно облучаемая площадка поверхности моря

$$S_r = r \theta_r \frac{l_n}{2}, \quad (6)$$

где  $l_n = \tau_n c$  – протяженность импульса на уровне половины мощности ( $c$  – скорость света  $3 \cdot 10^8$  м/с);  $\theta_r$  – ширина диаграммы направленности в горизонтальной области. Ширина диаграммы антенны РЛС «МРЛ-5» в горизонтальной плоскости  $\theta_r = 0,5^\circ$ ;  $\tau_n = 1$  мкс.

Площадь облучаемой площадки морской поверхности  $S_{\Gamma}$ , рассчитанная с помощью выражения (6) для реальных дальностей обнаружения  $r_0$ , приведена в табл. 1. Разделив среднюю ЭПР  $\sigma$  на площадь площадки  $S_{\Gamma}$ , получим безразмерную величину  $\sigma^{\circ}$  – удельную ЭПР, рассчитанные значения которой также помещены в табл. 1.

Приведенные в табл. 1 удельные ЭПР  $\sigma_0$  получены при волнении моря 2–5 баллов, что соответствует высоте волн 0,3...2 м. На рис. 5 представлена зависимость удельной ЭПР морской поверхности  $\sigma_0$  от высоты волн [18] для 3-см диапазона. Как видно из рис. 5, насыщение отражаемого сигнала наступает уже при высоте волн 0,6 м  $\approx$  2 балла.

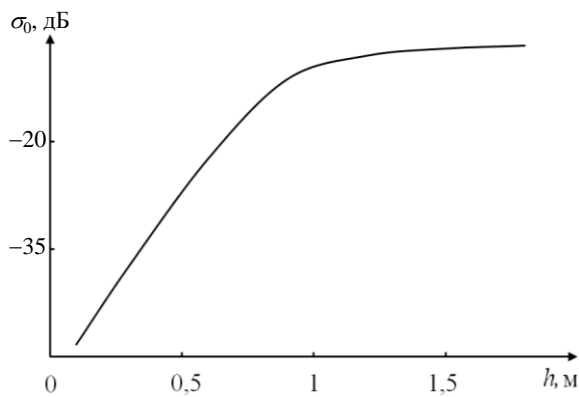


Рис. 5. Зависимость удельной ЭПР морской поверхности  $\sigma_0$  от высоты волн

Так как подавляющее большинство измерений проводилось при волнении моря более 2 баллов, можно сделать вывод, что вариации этого параметра имели несущественное влияние на полученные значения удельной ЭПР.

Одновременно с определением размеров зон «засветки» проводилось экспериментальное определение дальности действия навигационных судовых РЛС «Дон», «Наяда», специально установленной РЛС К2М и метеорологической РЛС «МРЛ-5». Энергопотенциал станций составлял: РЛС «Дон» – 164 дБ, «Наяда» – 168 дБ, К2М – 173 дБ, «МРЛ-5» – 214 дБ в 3-см диапазоне и 216 дБ в 10-см диапазоне. Высота расположения антенных систем РЛС находилась в пределах 16...20 м. Исключение составляла РЛС К2М, высота расположения которой составляла 5 м. Под дальностью действия  $r_{\text{пред}}$  понималось расстояние, когда отраженный сигнал становился равным шумам и прекращал наблюдаться на экране индикатора. ЭПР судна – цели для 3-см диапазона составляла  $\sigma_1 = 1500 \text{ м}^2$ , а для 10-см диапазона –  $\sigma_2 = 760 \text{ м}^2$ . Кроме того, использовались случайные суда, которые проходили в зоне

прямой видимости и могли быть охарактеризованы относительно судна с известной ЭПР.

На рис. 6 представлена зависимость размеров зоны «засветки»  $r_0$  от дальности действия  $r$  для высокопотенциальной РЛС «МРЛ-5» (рис. 6, а –  $\lambda = 3,2 \text{ см}$ ; рис. 6, б –  $\lambda = 10 \text{ см}$ ).

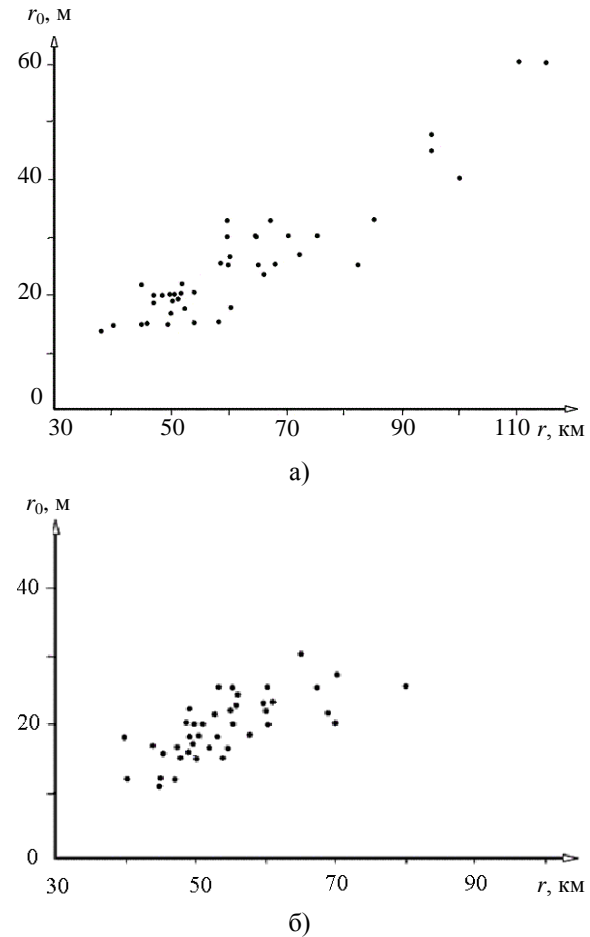
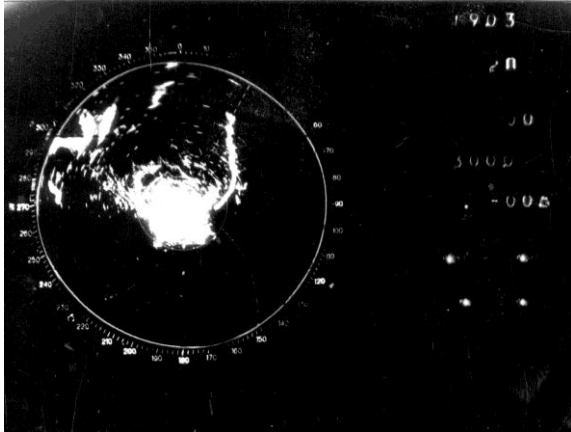


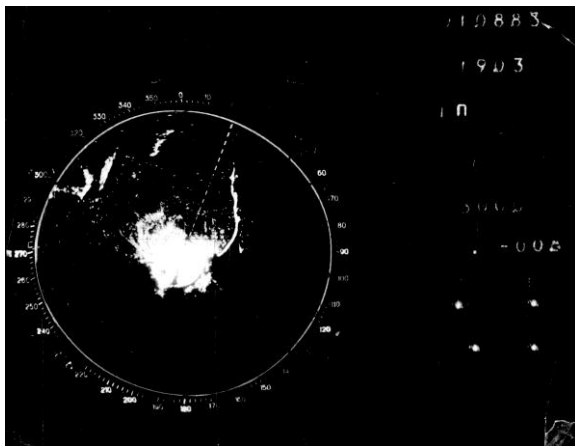
Рис. 6. Зависимость размеров зоны «засветки»  $r_0$  от дальности действия  $r$ : а) –  $\lambda = 3 \text{ см}$ ; б) –  $\lambda = 10 \text{ см}$

Теперь рассмотрим возможность определения наличия аномальных условий распространения радиоволн см диапазона по форме «засветки» на индикаторе РЛС. На рис. 7 показана «засветка» на индикаторе РЛС «МРЛ-5» отражениями от морской поверхности при волнении моря 2 балла и аномальных условиях распространения радиоволн, созданных проходящим холодным фронтом над Балтийским морем (рис. 7, а – 10 см, рис. 7, б – 3,2 см) в районе Гданьского залива. С помощью «МРЛ-5» наблюдались шведские острова Этланд и Готланд (расстояние  $r \approx 300 \text{ км}$ ). Острова наблюдались как 3-см, так и 10-см каналами. Рядом с островами наблюдались отражения от судов. Холодные массы воздуха, проходящие над более теплой водной поверхностью, вызвали интенсивное испарение и образо-

вание мощного приводного волновода, высота которого позволяла эффективно влиять на распространение радиоволн как 3-см, так и 10-см диапазонов (см. рис. 7). РЛС «Дон» в этот же момент обнаруживала надводные объекты на расстояниях до 70 км. Как видим, размеры зоны «засветки» в некоторых направлениях превышали 100 км.



а)



б)

Рис. 7. Зона «засветки» на индикаторе РЛС «МРЛ-5» при аномальных условиях распространения радиоволн: а) –  $\lambda = 10$  см; б) –  $\lambda = 3,2$  см

На рис. 8 показана увеличенная на весь экран индикатора с радиусом 50 км зона «засветки» рис. 7, б для 3-см диапазона РЛС «МРЛ-5», на которой виден дистанционный ход интенсивности отражений от поверхности в различных направлениях и структура отраженных сигналов в приводном волноводе. Все вышесказанное относится к РЛС с энергопотенциалом более 200 дБ («МРЛ-5», ПРВ-9, П15 и др.).

Далее рассмотрим возможности использования малопотенциальных навигационных РЛС «Дон», «Наяда», «Океан-М» и др. (с энергопотен-

циалом < 170 дБ) для диагностики условий распространения радиоволн см диапазона.

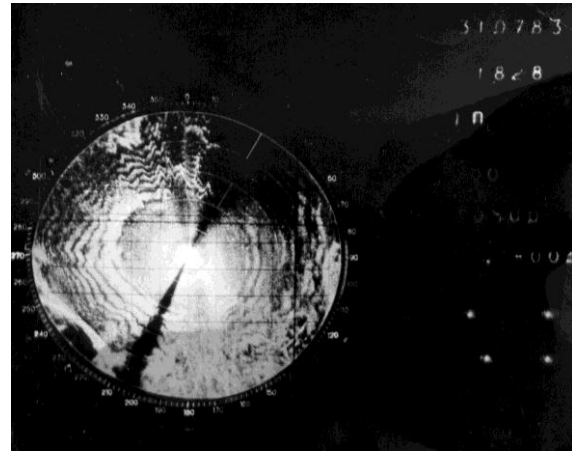


Рис. 8. Зона «засветки» на индикаторе РЛС «МРЛ-5» при аномальных условиях распространения радиоволн  $\lambda = 3,2$  см

Для исследований применялась РЛС «К2М», имеющая следующие параметры: измеряемая мощность  $P_{изл} = 85\ 000$  Вт, коэффициент усиления антенны  $G = 30$  дБ, чувствительность приемного устройства  $P_{ш} = 10^{-12}$  Вт, ширина диаграммы в вертикальной и горизонтальной плоскостях  $Q_T = 1^\circ$ ,  $\lambda = 3,2$  см, длительность импульса  $\tau_{и} = 1$  мкс. Определим дальность обнаружения отражений от морской поверхности в зоне прямой видимости, воспользовавшись уравнением (2) при  $\sigma = \text{const}$ . Для простоты считаем множитель ослабления  $V$  равным единице. Данные расчета представлены в табл. 2.

Таблица 2  
Размеры зоны «засветки» для РЛС «К2М»

$\sigma, \text{ м}^2$	0,001	0,01	0,1	10
$r_0, \text{ км}$	1,43	2,5	4,5	8

Перейдем к экспериментальным исследованиям. На рис. 9 показана осциллограмма отражений от морской поверхности при волнении моря 1 балл, ясном небе и солнечной погоде (Красное море). Как видно из рисунка, дальность обнаружения  $\sim 2,5$  км. В соответствии с табл. 2, такая дальность возможна при  $\sigma = 0,001 \text{ м}^2$ . На расстояниях 3...4 км наблюдаются выбросы, представляющие собой отражения от турбулентностей приводного слоя. Это явление выходит за рамки проводимых исследований и в данной работе не рассматривается.

В процессе исследований при изменении волнения моря от 1 до 6 баллов размер засветки изменялся от 2,5 до 9 км, при этом дальности об-

наружения надводных объектов лежали в пределах 36...72 км.

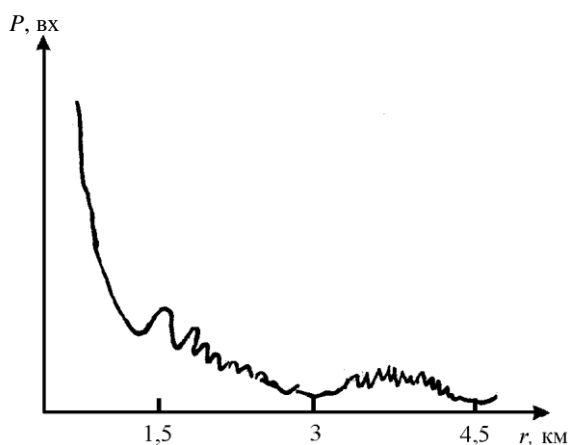


Рис. 9. Дистанционная зависимость отражений от морской поверхности ( $\lambda = 3$  см; 1 балл «К2М»)

Установить связь между размером зоны «засветки» и дальности обнаружения не представлялось возможным. Например, при размере зоны «засветки» 2,5 км и волнении моря 1 балл дальность обнаружения составляла 72 км, а при размере зоны «засветки» 7,5 км и волнении моря 5 баллов дальность обнаружения надводного объекта составляла 42 км. Кроме этого наблюдалась большая зависимость от водоизмещения проходящих случайных судов и направления ветра. На рис. 10 представлена зона «засветки» на индикаторе навигационной РЛС «Дон». Как видно из рисунка, размеры зоны «засветки» смещены относительно центра в сторону направления ветра.

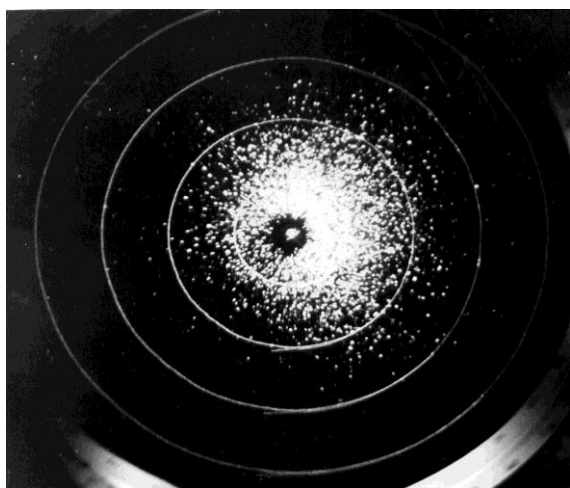


Рис. 10. Зона «засветки» на индикаторе навигационной РЛС «Дон»  $\lambda = 3,2$  см

Сопоставление дистанционных зависимостей интенсивности отражений от морской поверхности [10] (рис. 1) с полученными нами

(см. рис. 8) свидетельствует о том, что по мере увеличения дистанции сигналы меняют свой характер: в ближней освещенной зоне имеют непрерывный шумоподобный фон и переходят к дискретной структуре в зоне радиогоризонта и тени. Такое явление возможно при наличии аномальных условий распространения радиоволн см диапазона, например, сверхрефракции. На рис. 8 видны концентрические окружности отражений от морской поверхности, которые могут быть объяснены наличием мощного приповерхностного волновода и структурой поля в нем. Причем видно, расстояние между окружностями увеличивается с увеличением дальности, что связано с затуханием сигнала при распространении в волноводе. Это и приводит к тому, что отражения на краях концентрических окружностей видны меньше и расстояние между ними увеличивается. Такие мощные волноводы не наблюдались нами в исследованных районах Мирового океана. Они характерны для внутренних морей и наблюдались в Балтийском море летом 1983 г.

При менее высоких волноводах, соответствующих первому типу дистанционной зависимости  $V(r)$  (см. рис. 3), зона «засветки» имела сплошной фон и размеры до 50 км (см. табл. 1), второму типу — 30 км и третьему — 20 км.

Как видно из табл. 1, средняя ЭПР поразному влияет на размеры зоны «засветки» в зависимости от типа кривой, что объясняется различной крутизной дистанционных зависимостей разных типов. При изменении средней ЭПР от 0,01 до 0,1 м<sup>2</sup> размеры зоны «засветки» для первого типа равны  $(50 \pm 5)$  км. При изменении средней ЭПР от 0,001 до 0,01 м<sup>2</sup> размеры зоны «засветки» для второго типа равны  $(39 \pm 4)$  км и третьего —  $(26 \pm 2)$  км. Зависимость размеров зоны «засветки» от типов кривой  $V(r)$  при  $\sigma = \text{const}$  существенно больше. Например, при  $\sigma = 0,1$  м<sup>2</sup> размеры зоны «засветки» для первого и третьего типов дистанционных зависимостей  $V(r)$  отличаются почти в два раза. При уменьшении ЭПР такое отличие становится меньше. Объяснение этого явления понятно из рис. 4. Таким образом, определяющее влияние на уровень радиолокационных отражений в загоризонтной области имеют условия распространения радиоволн и соответствующие им дистанционные зависимости множителя ослабления  $V(r)$ .

Для РЛС, потенциал которых позволяет наблюдать отражения от морской поверхности только в зоне прямой видимости, размеры зоны «засветки» имеют зависимость прежде всего от параметров волнения моря (см. табл. 2).

**Выводы.** Отраженные от морской поверхности сигналы могут быть использованы для оперативной диагностики условий распростране-

ния радиоволн см диапазона в загоризонтной области. Определяющим параметром является дальность обнаружения отраженных от морской поверхности сигналов, а инструментом может быть высокопотенциальная загоризонтная РЛС ( $C > 200$  дБ).

Кроме этого, возможна диагностика наличия аномальных условий распространения радиоволн по форме картинке отражений на индикаторе РЛС.

1. *Hitney N. V. Integrated Refractive Prediction System (IREPS) / N. V. Hitney, J. H. Richter // Nav. Eng. I. – 1976. – 88. – P. 257–262.*
2. *IREPS Revision 2.2 User's manual / C. P. Hattan, W. L. Patterson, H. V. Hitney at al. // Naval Ocean Syst. Cen. Tech. Doc. 659. Oct. 21. – 1983. – P. 561.*
3. *Пакет программ для диагностики условий распространения ультракоротких радиоволн над морем / М. В. Белоброва, К. В. Иванов, А. В. Кукушкин и др. // Изв. вузов. Радиофизика. – 1990. – 33, № 12. – С. 1315–1319.*
4. *Мыценко И. М. Диагностика и прогнозирование дальности действия судовых навигационных РЛС трехсантиметрового диапазона / И. М. Мыценко, А. Н. Роевко, С. И. Хоменко // Радиофизика и электроника: сб. науч. тр. / Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. – X., 2001. – 6, № 1. – С. 67–71.*
5. *Мыценко И. М. Исследование распространения радиоволн сантиметрового диапазона при наличии волновода испарения / И. М. Мыценко // Радиофизика и электроника: сб. науч. тр. / Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. – X., 2008. – 13, № 2. – С. 173–177.*
6. *Радиофизические исследования Мирового океана: сб. науч. тр. / под ред. В. Б. Разсказовского; Ин-т радиофизики и электрон. АН Украины. – X., 1992. – С. 362.*
7. *Левадный Ю. В. Моделирование распространения сантиметровых радиоволн в волноводе испарения над взволнованной морской поверхностью / Ю. В. Левадный, В. К. Иванов, В. Н. Шаляпин // Радиофизика и электроника: сб. науч. тр. / Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. – X., 2009. – 14, № 1. – С. 28–35.*
8. *Мыценко И. М. Экспериментальное исследование дальности действия судовых навигационных РЛС сантиметрового диапазона в районах Мирового океана: сб. науч. пр. / И. М. Мыценко, И. С. Панкратов, С. И. Хоменко; Министерство обороны Украины, Харківський військовий університет. – X., 2001. – Вип. 2(32). – С. 56–59.*
9. *Гаврилов А. С. Методы расчета структуры приводного слоя атмосферы применительно к задачам радиолокации над океаном / А. С. Гаврилов, Ю. С. Петров // Рассеяние и дифракция радиолокационных сигналов и их информативность. – Л.: Изд-во СЗПИ, 1984. – С. 31–36.*
10. *Отчет по теме «Чад-УН-1» / ИРЭ АН УССР; отв. исп. С. И. Хоменко. – X. – С. 101.*
11. *Пространственные изменения уровня радиолокационных отражений от морской поверхности в условиях сверхрефракции / А. В. Волков, К. В. Кошель, К. В. Латышев и др. // Изв. вузов. Радиофизика. – 1990. – 33, № 12. – С. 1423.*
12. *Использование радиолокационных отражений от морской поверхности для изучения рефракции радиоволн / А. В. Волков, К. В. Кошель, К. В. Латышев и др. // XIV Всесоюз. конф. по распространению радиоволн: тез. докл. – X., 1990. – Ч. 2. – С. 69.*
13. *Мыценко И. М. Использование отраженных от морской поверхности сигналов для диагностики дальности действия судовых навигационных РЛС сантиметрового диа-*

пазона / И. М. Мыценко, С. И. Хоменко // Радиофизика и электроника: сб. науч. тр. / Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. – X., 2004. – 9, № 3. – С. 515–520.

14. *Mytsenko I. M. Using the Signal Reflected from sea Surfau for Prediction of Coverage Range of Marine Navigational Microwave Radars / I. M. Mytsenko, S. I. Khomenko // Telecommunications and Radio Engineering. – 2005. – 60, N 8. – P. 699–705.*
15. *Красюк Н. П. Корабельная радиолокация и метрология / Н. П. Красюк, В. И. Розенберг // Судостроение. – 1990. – 33, № 12. – С. 328.*
16. *Морская радиолокация / В. И. Винокуров, В. А. Генкин, С. П. Калиниченко и др. // Судостроение. – 1986. – С. 362.*
17. *Влияние ветра на интенсивность радиолокационных отражений от морской поверхности / В. Г. Гутник, Л. И. Шарпапов, Г. П. Кулемин, В. Б. Ефимов // Радиофизика и электроника: сб. науч. тр. / Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. – X., 2003. – 8, № 3. – С. 338–345.*
18. *Распространение ультракоротких радиоволн / пер. с англ. под ред. Б. А. Шиллерова. – М.: Сов. радио, 1954. – С. 710.*

## APPLICATION OF THE SIGNALS SCATTERED FROM THE SEA SURFACE FOR DIAGNOSING OF CM-WAVE PROPAGATION

I. M. Mytsenko, S. I. Khomenko

The summary of the works on problem in research is presented. The experimental mean and specific effective scattering surfaces for extreme range distances of detecting reflections from the sea surface at different cm-wave propagation conditions are determined. The main attention was given to the over horizon area. Dependence between “illuminated” area and range of detection of above water objects was defined for the over horizon radar. The conclusion that reflections from the sea surface may be used for on-line diagnostics of cm-wave propagation conditions in the over horizon area was drawn.

**Key words:** evaporation duct, attenuation factor, effective scattering surface.

## ВИКОРИСТАННЯ ВІДБИТИХ ВІД МОРСЬКОЇ ПОВЕРХНІ СИГНАЛІВ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ УМОВ ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ САНТИМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ

И. М. Мыценко, С. И. Хоменко

Приведено огляд робіт з проблеми досліджень. Визначені експериментальні середня та питома ефективні площі розсіяння для граничних відстаней виявлення відбитків від морської поверхні за різних умов поширення радіохвиль сантиметрового (см) діапазону. При цьому головну увагу приділено заобрійній області. Установлено зв'язок для заобрійної радіолокаційної станції між розміром зони «засвітки» і дальністю виявлення надводних об'єктів. Зроблено висновки, що відбиття від морської поверхні може бути використано для оперативної діагностики умов поширення радіохвиль см діапазону в заобрійній області.

**Ключові слова:** хвилевід випаровування, множник послаблення, ефективна площа розсіяння.

*Рукопись поступила 12 августа 2009 г.*