



Построение полуэмпирической геофизической модельной функции для ортогональной поляризации СВЧ излучения при экстремальных скоростях ветра

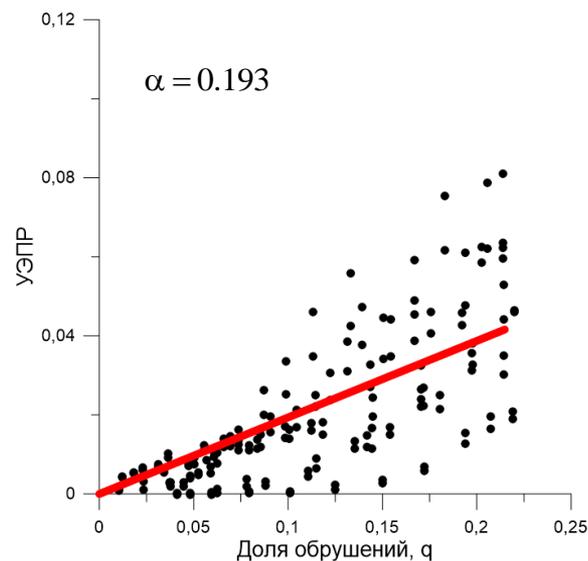
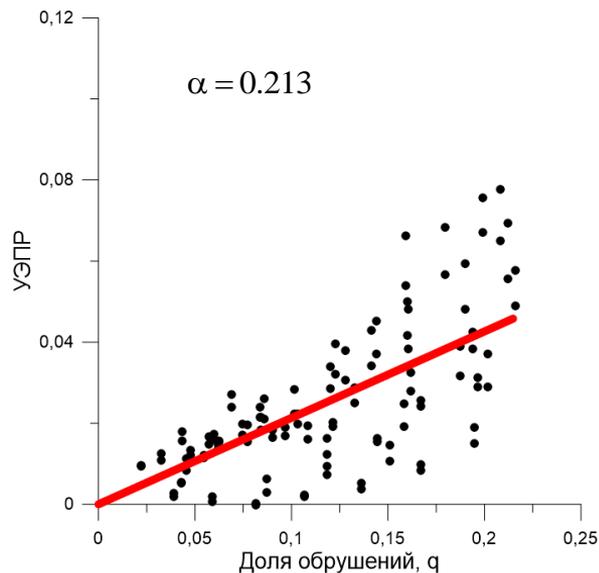
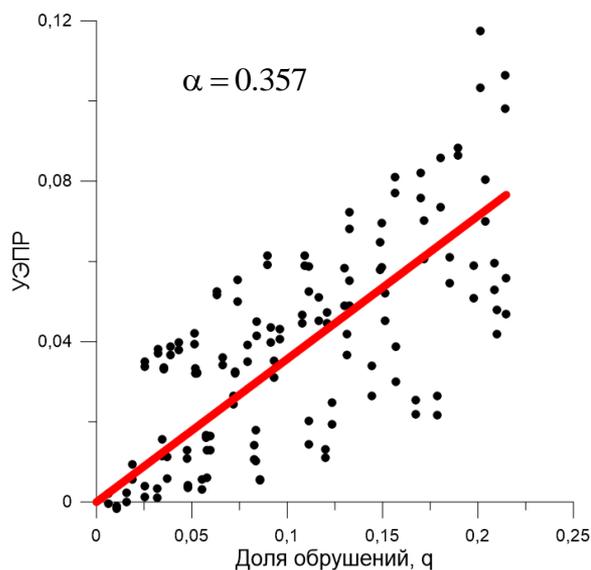
Русаков Н.С. (1), Байдаков Г.А. (1,2), Ермакова О.С. (1), Троицкая Ю.И. (1,2)

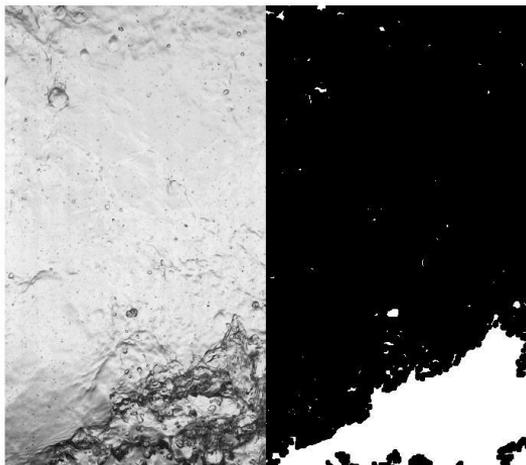
(1) Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

(2) Институт физики атмосферы имени А. М. Обухова РАН, Москва, Россия

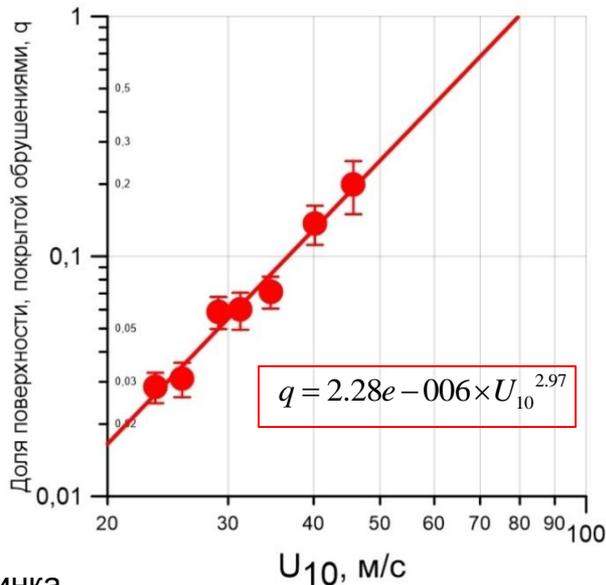
Зависимости УЭПР водной поверхности для ортогональных поляризаций HV и VH от доли пенного покрытия для трех углов падения – 30°, 40°, 50°, сплошная линия – линейная аппроксимация данных формулой

$$\sigma_{cross-pol} = \alpha \times q$$

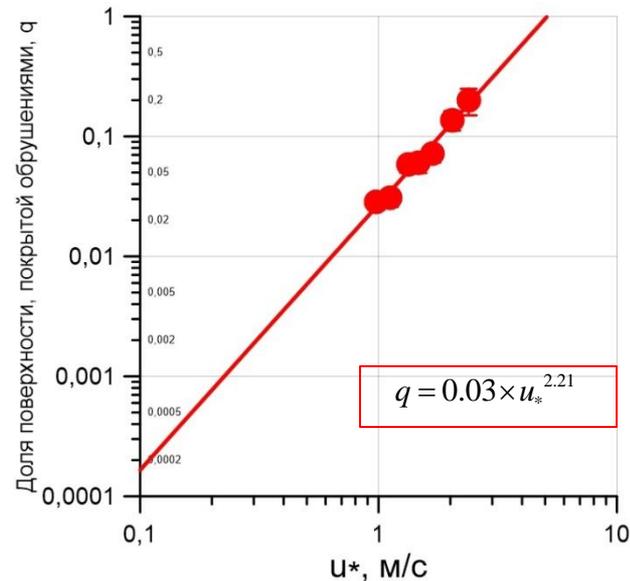




Съемка поверхности воды высокоскоростной камерой, левая картинка – исходное изображение, правая – результат работы алгоритма по выделению обрушений, основанного на методе пороговой обработки



Зависимость доли обрушений от скорости ветра на высоте 10м



Зависимость доли обрушений от динамической скорости ветра

Метод FDM аналогичен алгоритму WDM (wavelet directional method), предложенному [Donelan et al., 1996]

Fourier directional method (FDM)

Позволяет, основываясь на трех точечных измерениях положений поверхности во времени струнным волнографом, вычислить пространственные спектры возвышений

Положение поверхности в каждой точке представляется как сумма гармоник с разной частотой ω :

$$A_{\omega}(x_n, y_n) \exp(i\varphi_{\omega}(x_n, y_n))$$

Из предположения, что каждой гармонике в рассматриваемом окне соответствует одно k :

$$\varphi_{\omega}(x_n, y_n) = k_x x_n + k_y y_n$$

Разность фаз между точками измерения:

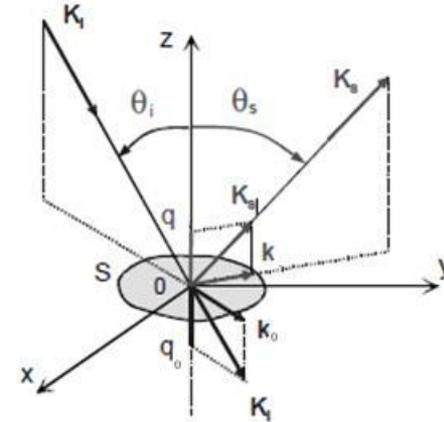
$$\Delta\varphi_{n,m} = \varphi_{\omega}(x_n, y_n) - \varphi_{\omega}(x_m, y_m) \longrightarrow (k_x, k_y) \longrightarrow (k, \theta)$$

В результате – пространственно-временной спектр волнения $S(\omega, k, \theta)$, знание которого необходимо для моделирования рассеяния на водной поверхности

$$\sigma_{\alpha\beta, \alpha'\beta'}(\vec{k}, \vec{k}_0) = \frac{4q_k^2 q_0^2}{\pi(q_k + q_0)^2} \{ B_{\alpha\beta}^M(\vec{k}, \vec{k}_0) \bar{B}_{\alpha'\beta'}^M(\vec{k}, \vec{k}_0) \bullet \int_{r < r_{\max}} \exp[-i(\vec{k} - \vec{k}_0)\vec{r} - (q_k + q_0)^2(C(0) - C(\vec{r}))] d\vec{r} \\ + \int_{r < r_{\max}} \exp[-i(\vec{k} - \vec{k}_0)\vec{r} - (q_k + q_0)^2(C(0) - C(\vec{r}))] f_{\alpha\beta, \alpha'\beta'}(\vec{r}; \vec{k}, \vec{k}_0) d\vec{r} \} \quad \text{- УЭПР в рамках модели SSA-2 [Vor, Zav, 2014]}$$

$$q_k = \sqrt{\frac{\omega^2}{c^2} - k^2} \quad q_0 = \sqrt{\frac{\omega^2}{c^2} - k_0^2} \\ k = \frac{\omega}{c} \sin(\theta_s) \quad k_0 = \frac{\omega}{c} \sin(\theta_i)$$

- вертикальные и горизонтальные волновые числа падающей и рассеянной волн



Аппроксимация, описывающая рассеяние сигнала на ортогональной поляризации, предложенная в работе [Guerin, 2015]:

$$\sigma_{cross-pol} = 4\pi |G_\gamma|^2 \cotan^2(\theta_i) Q_H^4 \Gamma(\vec{Q}_H) mss_y$$

Q_H - береговое волновое число

$\Gamma(\vec{Q}_H)$ - компонента пространственного спектра

mss_y - среднеквадратичный уклон поверхности в направлении, перпендикулярном падающей волне

G_γ - Коэффициент, зависящий от конфигурации зондирования и диэлектрических свойств среды

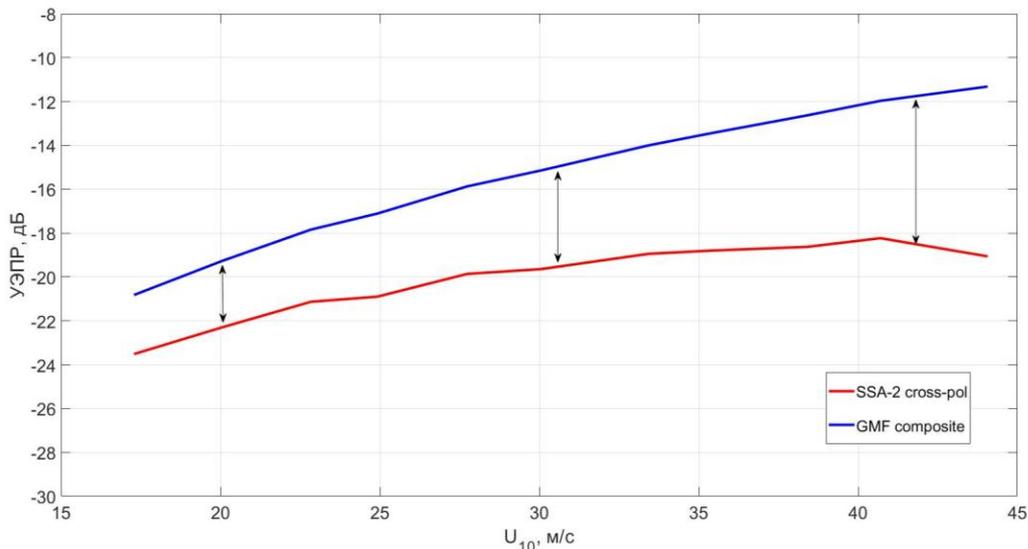
Рассеяние от поверхности определяется некогерентным сложением сигналов, рассеянных областями обрушения, и частью поверхности воды, свободной от обрушений:

$$\sigma_{cross-pol} = \alpha \times q + \sigma_{SSA} (1 - q)$$

$q = 2.28e - 006 \times U_{10}^{2.97}$ - доля водной поверхности, покрытой обрушениями

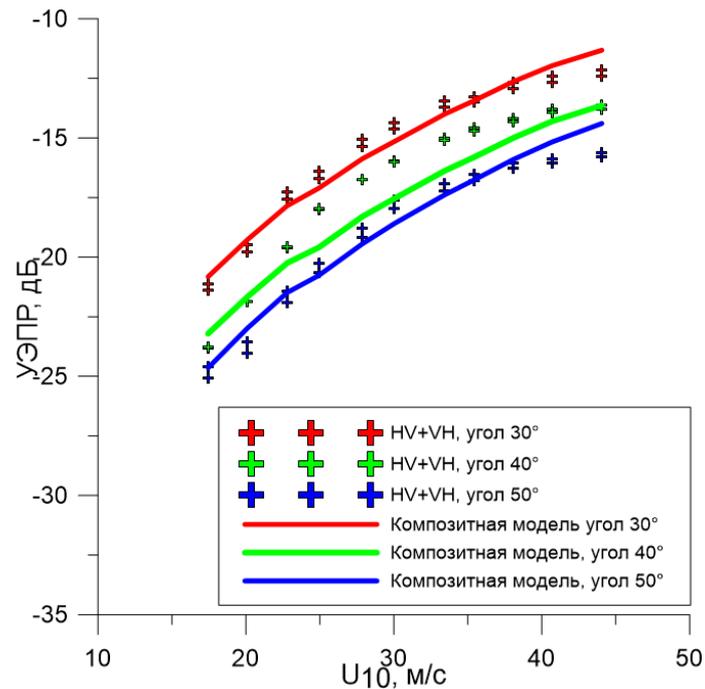
α - коэффициент, определяющий вклад обрушений в УЭПР водной поверхности

$\sigma_{SSA} = 4\pi |G_\gamma|^2 \cotan^2(\theta_i) Q_H^4 \Gamma(\bar{Q}_H) m_{SSy}$ - УЭПР ветрового волнения, вычисленное из спектра в ветро-волновом канале, восстановленного методом FDM



Зависимость УЭПР на ортогональной поляризации, рассчитанной в рамках модели SSA-2 и по предложенной ГМФ, угол падения 30°

Из рассчитанных зависимостей видно, что сигнал на ортогональной поляризации, рассеянный на ветровых волнах, демонстрирует тенденцию к насыщению аналогично сигналу на соосной поляризации. При этом непрерывный рост УЭПР при высоких скоростях ветра, наблюдаемый в экспериментальных данных, обеспечивается за счет рассеяния на обрушающихся гребнях волн



Предложенная ГМФ демонстрирует хорошее совпадение с экспериментальными измерениями. Имеющиеся расхождения могут быть объяснены трудностью точной оценки доли обрушений на водной поверхности.

1. На основе метода «малых уклонов» с использованием экспериментально измеренных спектров поверхностных волн вычислен вклад в УЭПР на ортогональной поляризации поверхности воды, свободной от обрушений.
2. Показано, что вклад в рассеяние на ортогональной поляризации необрушающихся волн имеет тенденцию к насыщению при высоких скоростях приводного воздушного потока, а рост УЭПР обусловлен увеличением площади поверхности обрушений с ростом скорости воздушного потока.
3. На основе проведенных исследований построена композитная модель рассеяния электромагнитных волн на ортогональной поляризации на поверхности воды, частично покрытой обрушениями волн. На основе лабораторных экспериментов получено экспериментальное подтверждение применимости предложенной композитной модели к описанию рассеяния СВЧ-радиоволн на поверхности воды, находящейся под действием штормового ветра.

Спасибо за внимание!