

Моделирование яркостной температуры водной поверхности в рамках двухмасштабной модели излучения

Садовский И.Н. (1,2)

(1) Институт космических исследований РАН, Москва

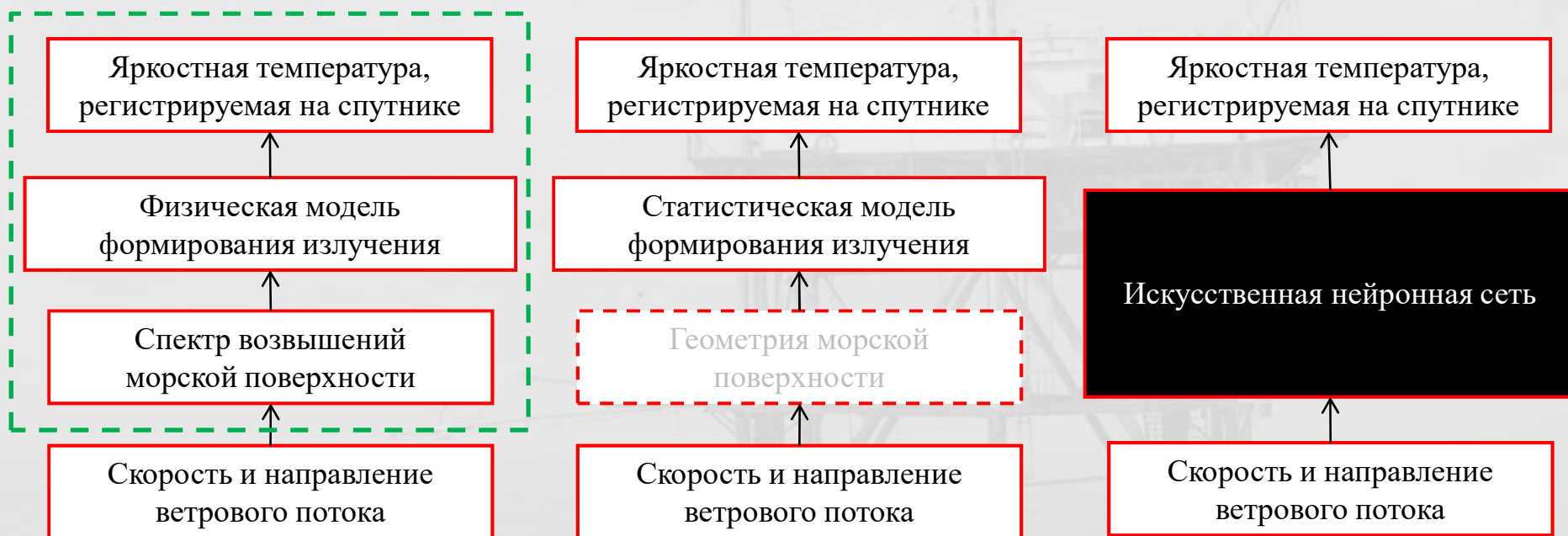
(2) МИРЭА – Российский технологический университет, Москва

E-mail: Ilya_Nik_Sad@mail.ru



**Институт Космических Исследований
Space Research Institute**

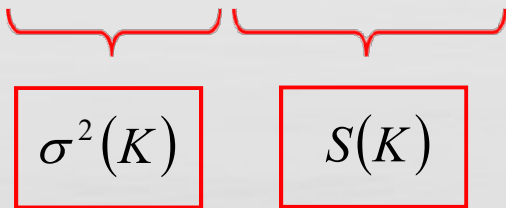
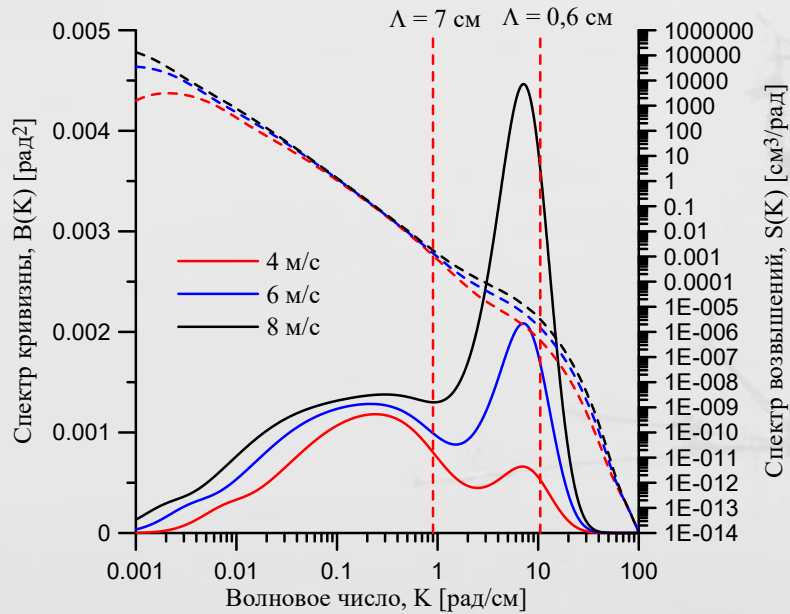
Варианты решения прямой задачи:



Трохимовский Ю.Г. Модель радиотеплового излучения взволнованной морской поверхности // Исследование Земли из космоса. 1997. № 1. С. 39–49.

Meissner Th., Wentz F.J. The emissivity of the ocean surface between 6 and 90 GHz over a large range of wind speeds and Earth incident angles // IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing. 2012. Vol. 50. N. 8. P. 3004–3026.

Модель радиотеплового излучения:



Двухмасштабная модель излучения:

$$\Delta T_{Я}(\theta) = \Delta T_{Я_ДЛ}(\theta) + \Delta T_{Я_КОР}(\theta)$$

Учет длинных волн:

$$\Delta T_{Я_ДЛ}(\theta) \leftarrow f(\sigma^2(K_{ДЛ}))$$

$$K_{ДЛ} \approx k \cdot 0,05$$

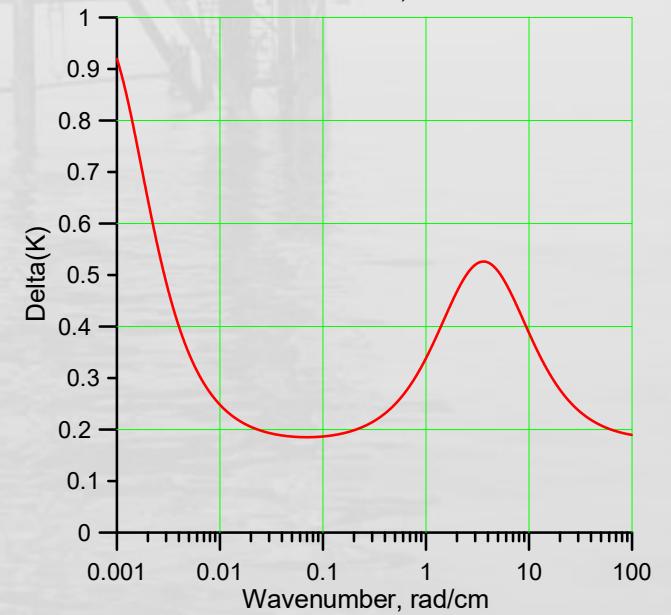
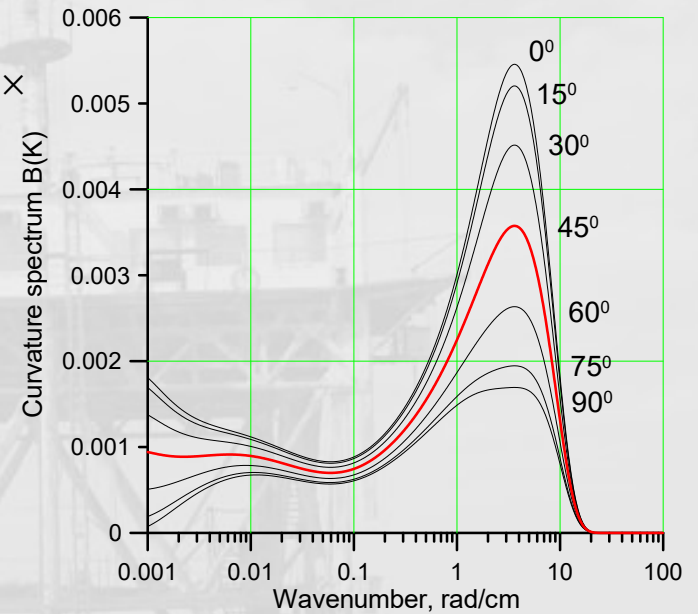
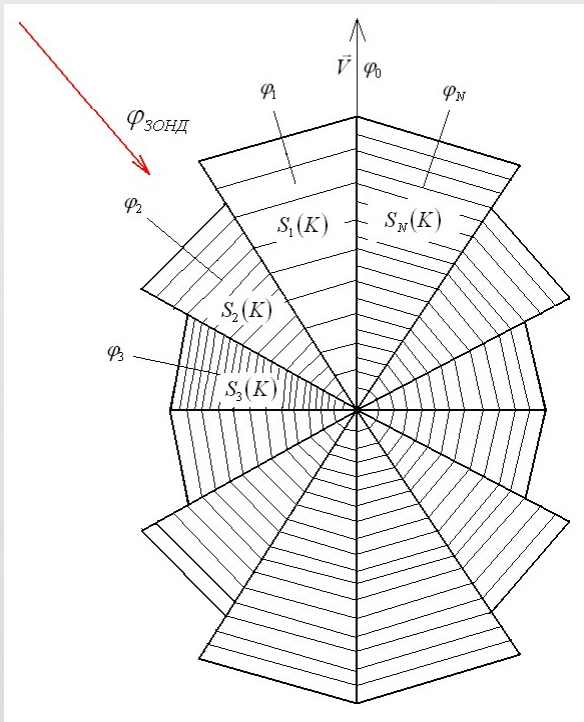
Учет коротких волн:

$$\Delta T_{Я_КОР}(\theta) \leftarrow \int_{K_{ДЛ}}^{\infty} S(K) \delta(K/k, \theta) dK$$

$$\Delta T_{Я_КОР}(\theta) \leftarrow f(S(K), k)$$

Учет коротких волн:

$$\Delta T_{Я_КОР}(\theta, \varphi_{ЗОНД}) = \int_0^{2\pi} \int_{K_{ДЛ}}^{\infty} T_B k^2 2 \frac{S(K)}{K} \left(\frac{1}{2\pi} (1 + \Delta(K) \cos(2\varphi)) \right) \times \\ \times \delta\left(\frac{K}{k}, \theta, \varphi_{ЗОНД} - \varphi\right) K dK d\varphi$$



Учет длинных волн:

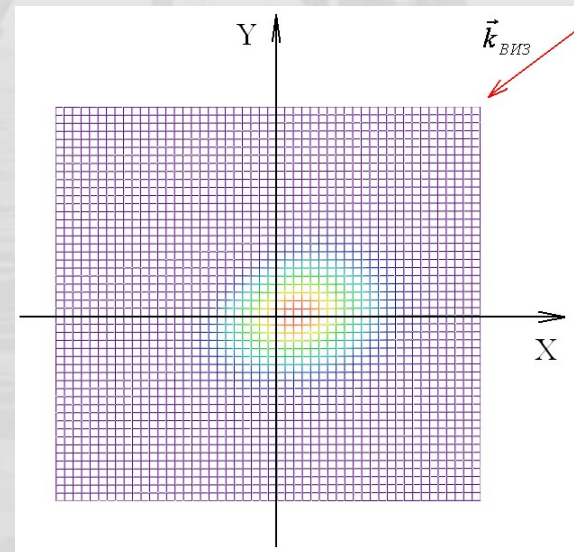
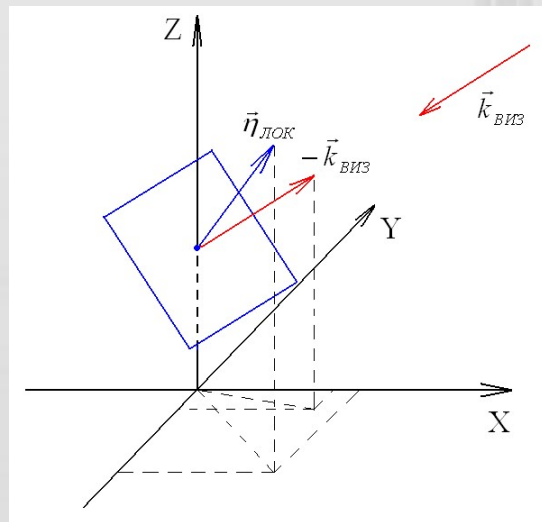
$$\Delta T_{Я_ДЛ}(\theta) = \iint P_{\theta}(\eta_X, \eta_Y) \cdot \left(T_B (1 - |R|^2) + |R|^2 \cdot T_{II}(\theta, \theta_{II}) \right) d\eta_X d\eta_Y - T_{Я_ГЛ}(\theta)$$

$$P(\eta_X, \eta_Y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left(-\frac{\eta_X^2}{2\sigma_x^2} - \frac{\eta_Y^2}{2\sigma_y^2} \right)$$

$$\sigma_{\eta_X}^2 = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} K_X^2 S(K_X, K_Y) dK_X dK_Y = \int_0^{\infty} \int_{-\pi}^{\pi} K^2 \cos^2(\varphi) S(K, \varphi) K dK d\varphi$$

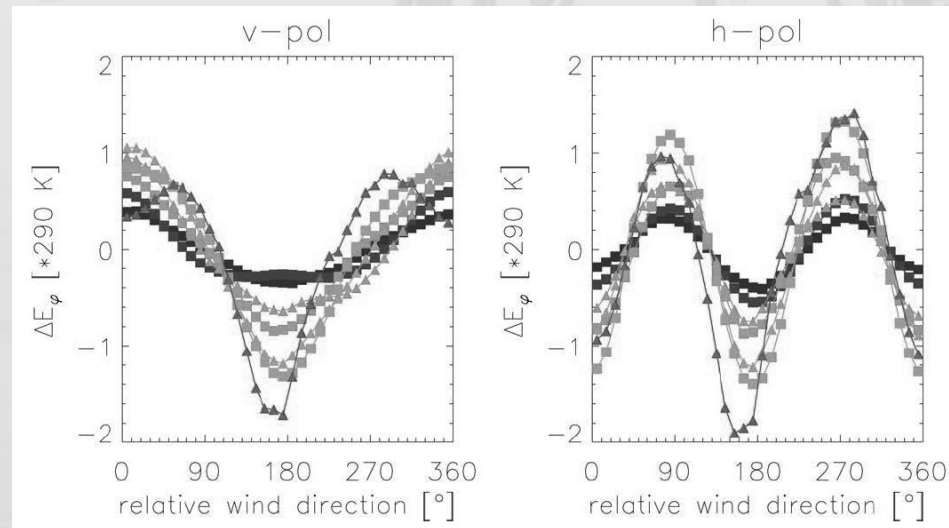
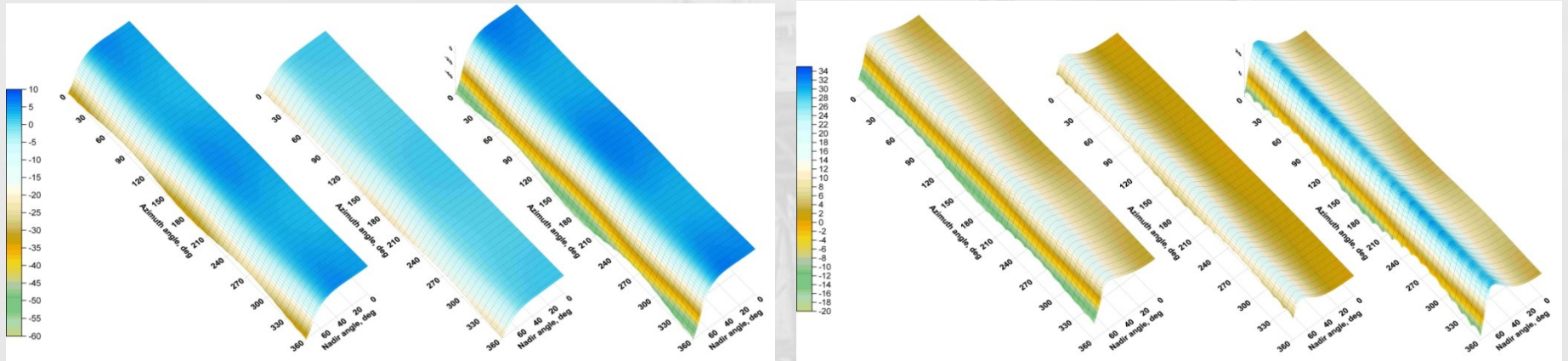
$$\sigma_{\eta_Y}^2 = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} K_Y^2 S(K_X, K_Y) dK_X dK_Y = \int_0^{\infty} \int_{-\pi}^{\pi} K^2 \sin^2(\varphi) S(K, \varphi) K dK d\varphi$$

$$P(\eta_X, \eta_Y)_{3D} = P(\eta_X, \eta_Y) \times [1 + \text{tg}(\theta_k) \times \text{tg}(\theta_{\eta}) \times \cos(\varphi_{\eta} - \varphi_k)]$$

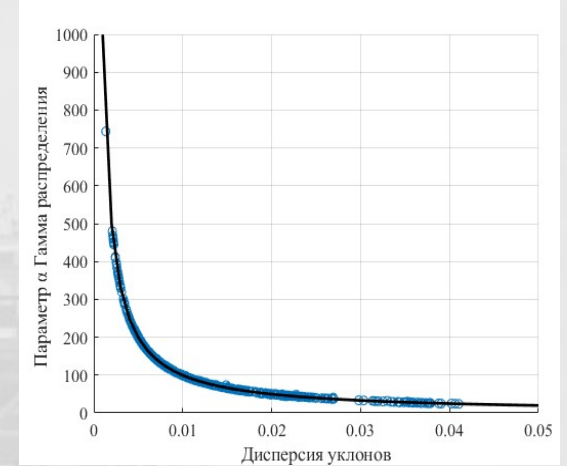
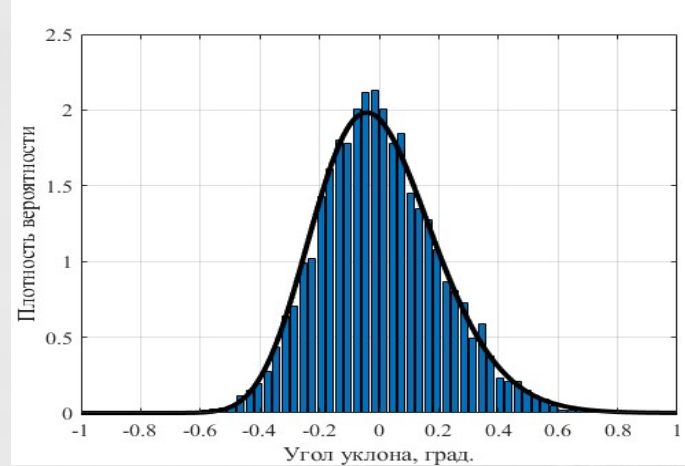
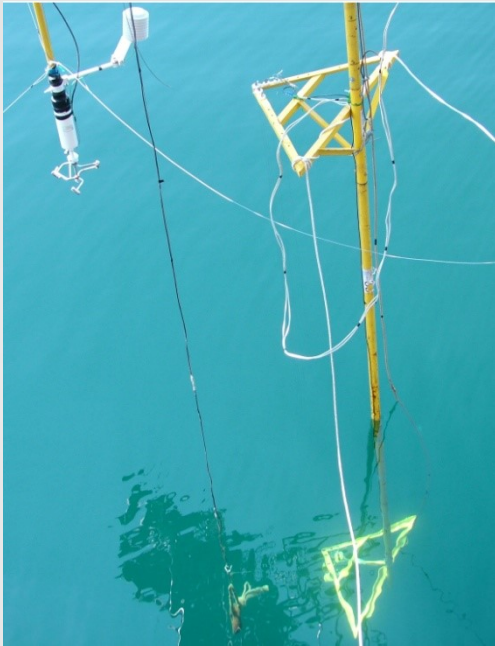


Недостатки использования «теоретической» модели:

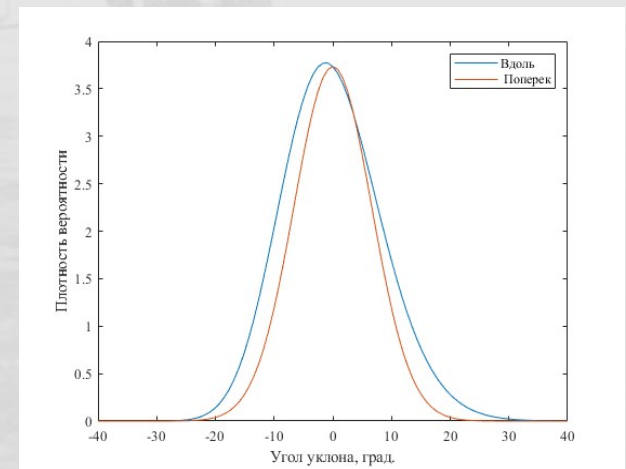
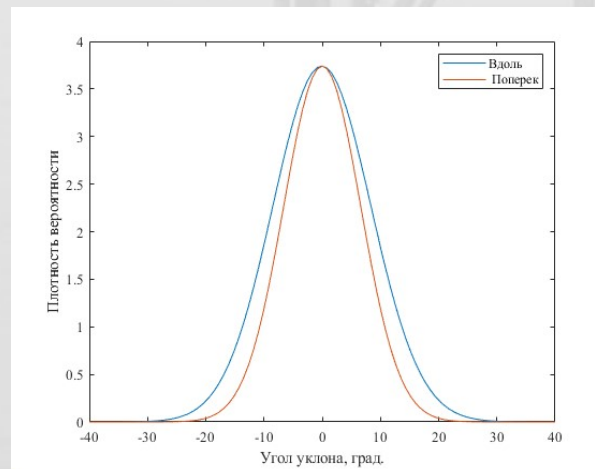
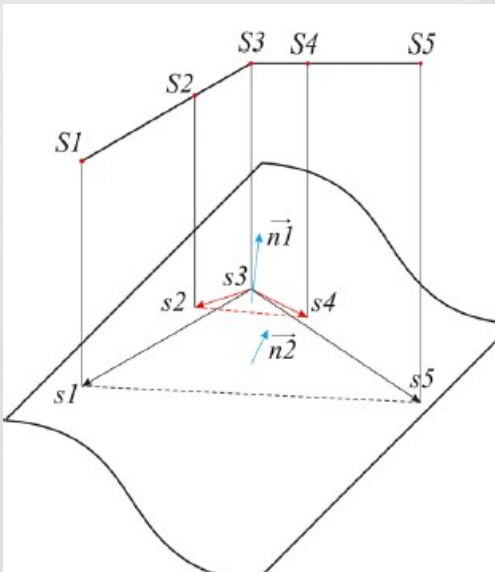
Невозможность корректного описания эффекта азимутальной анизотропии собственного радиотеплового излучения морской поверхности, оставаясь в рамках спектрального описания геометрии ветровых волн.



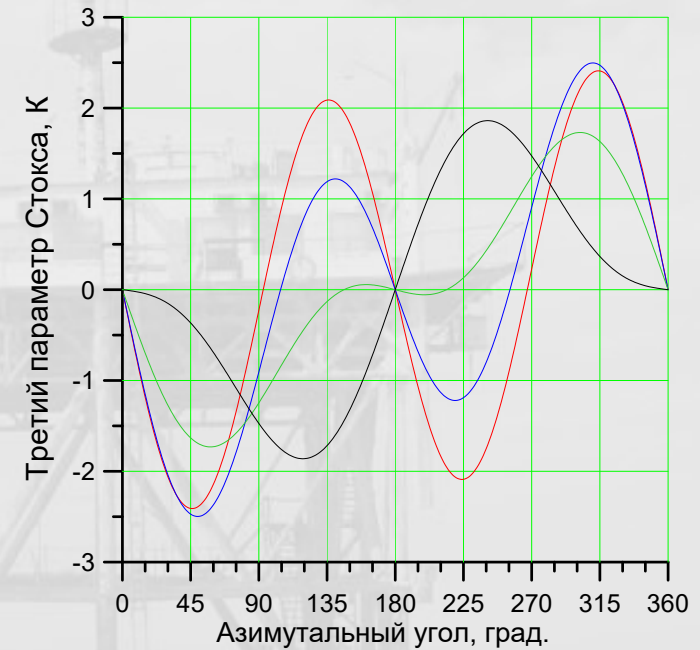
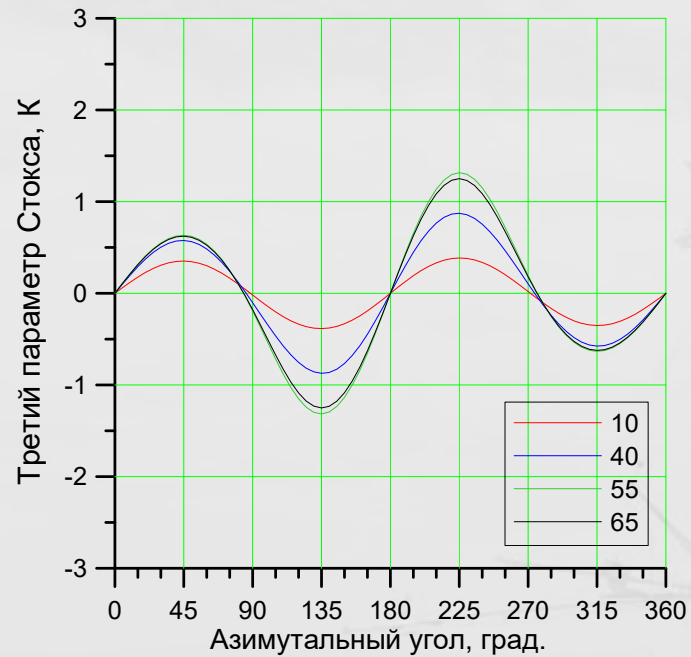
Результаты натурных исследований статистики распределения уклонов крупных волн:



$$f(\alpha, \beta, c, x) = \begin{cases} (x+c)^{\alpha-1} \frac{\exp\left(-\frac{(x+c)}{\beta}\right)}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)}, & x+c \geq 0 \\ 0, & x+c < 0 \end{cases}$$

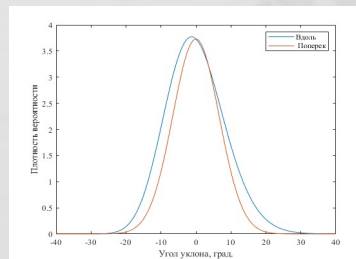


Результаты моделирования:



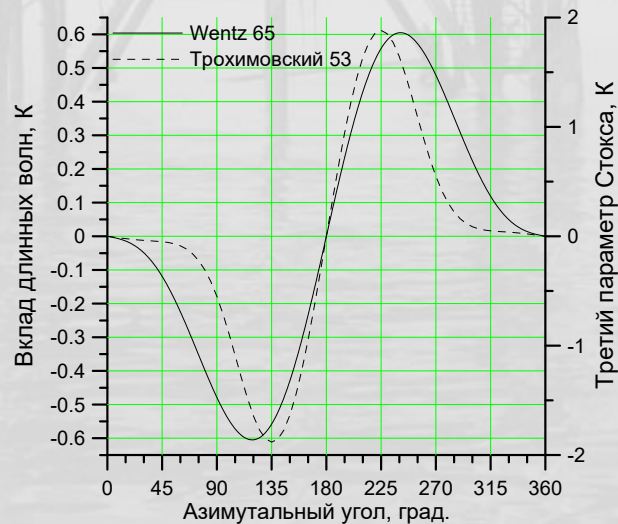
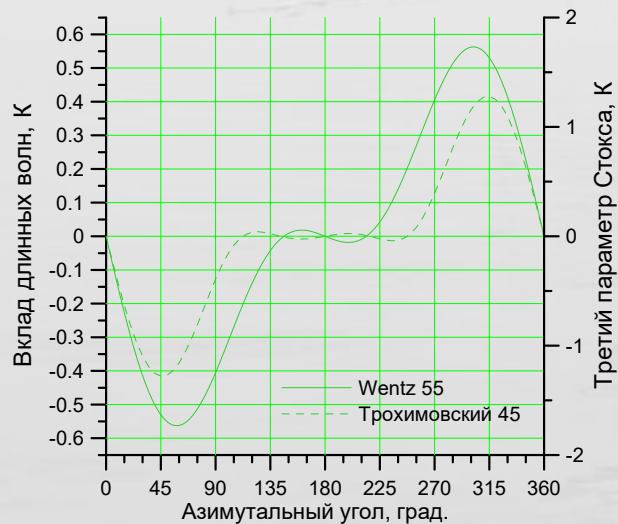
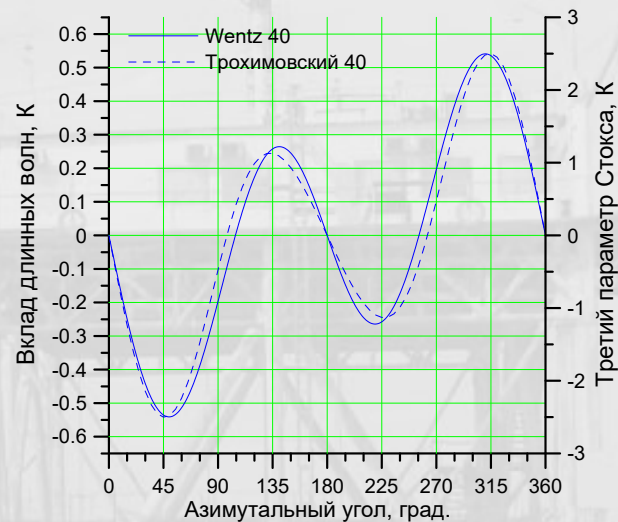
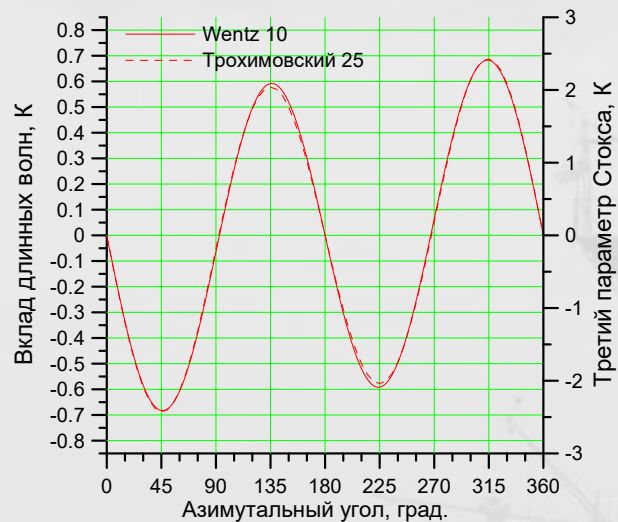
Трохимовский Ю.Г. Модель радиотеплового излучения взволнованной морской поверхности // Исследование Земли из космоса. 1997. № 1. С. 39–49.

+



Meissner Th., Wentz F.J. The emissivity of the ocean surface between 6 and 90 GHz over a large range of wind speeds and Earth incident angles // IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing. 2012. Vol. 50. N. 8. P. 3004–3026.

Результаты моделирования:




Выводы:

Угловая зависимость третьего параметра Стокса, наблюдаемая в натуральных условиях, имеет форму, определяемую вкладом длинноволновых компонент ветровых волн при учете асимметричности распределения уклонов в генеральном направлении их распространения.

Расхождения азимутальных зависимостей яркости на вертикальной и горизонтальной поляризациях с данными (Meissner and Wentz, 2012), косвенно, свидетельствуют о необходимости пересмотра методики учета коротковолнового волнения в рамках модели (Трохимовский, 1997). С учетом того факта, что корректность применения теории критических явлений в отношении периодически неровной поверхности доказана неоднократно, изменения должны коснуться учета их пространственного распределения и ориентации волновых векторов на поверхности более длинноволновых составляющих.

Требуются аккуратные волнографические измерения, направленные на определение пространственных характеристик волнения именно в гравитационно-капиллярной области, критически важной для микроволновых средств дистанционного зондирования.



Работа выполнена при финансовой поддержке
Российского научного фонда (проект №23-17-00189).

Спасибо за внимание!



**Институт Космических Исследований
Space Research Institute**