

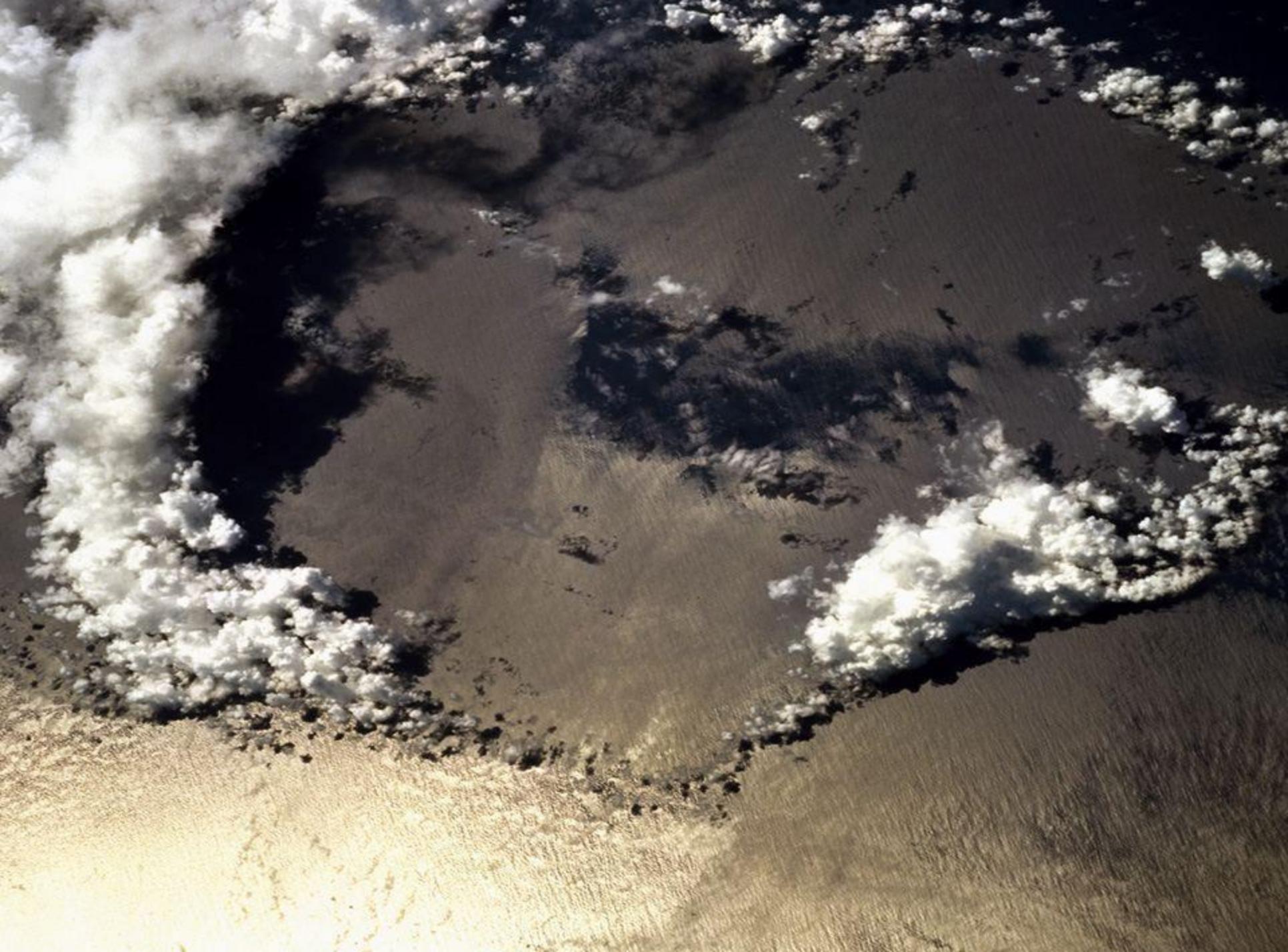
# *Бистатистическая локация поверхности моря СВЧ- радиоизлучением Солнца*

*М.В. Данилычев<sup>1</sup>, Кутуза Б.Г.<sup>1</sup>, Саворский В.П.<sup>2</sup>,  
Смирнов М.Т.<sup>2</sup>, Ермаков Д.М.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Институт радиотехники и электроники (ИРЭ) им.  
В.А. Котельникова РАН*

*<sup>2</sup>Фрязинский филиал Института радиотехники и  
электроники им. В.А. Котельникова РАН*

$$\begin{aligned}
T_{\mathcal{R}}(\lambda, \theta) &= T_M \kappa(\lambda, \theta) \exp(-\tau(\lambda) \sec \theta) + \\
&+ \int_0^{\infty} T_{amM}(h) \gamma_{\lambda}(h) \sec \theta \cdot \exp\left(-\int_h^{\infty} \gamma_{\lambda}(z) dz \sec \theta\right) dh + \\
&+ r(\lambda, \theta) \exp(-\tau(\lambda) \sec \theta) \cdot \int_0^{\infty} T_{amM}(h) \gamma_{\lambda}(h) \sec \theta \exp\left(-\int_0^h \gamma_{\lambda}(z) \sec \theta dz\right) dh + \\
&+ r(\lambda, \theta) T_K(\lambda, \theta) \exp(-2\tau(\lambda) \sec \theta)
\end{aligned}$$



# *Схема работы спутниковой РМС:*

- Измерение антенной температуры и формирование первичного массива экспериментальных данных и данных калибровочных процедур (для каждого канала РМС)*



- Построение 2D-распределения (карты) яркостной температуры радиоизлучения исходящего из исследуемой системы (для каждого канала РМС)*

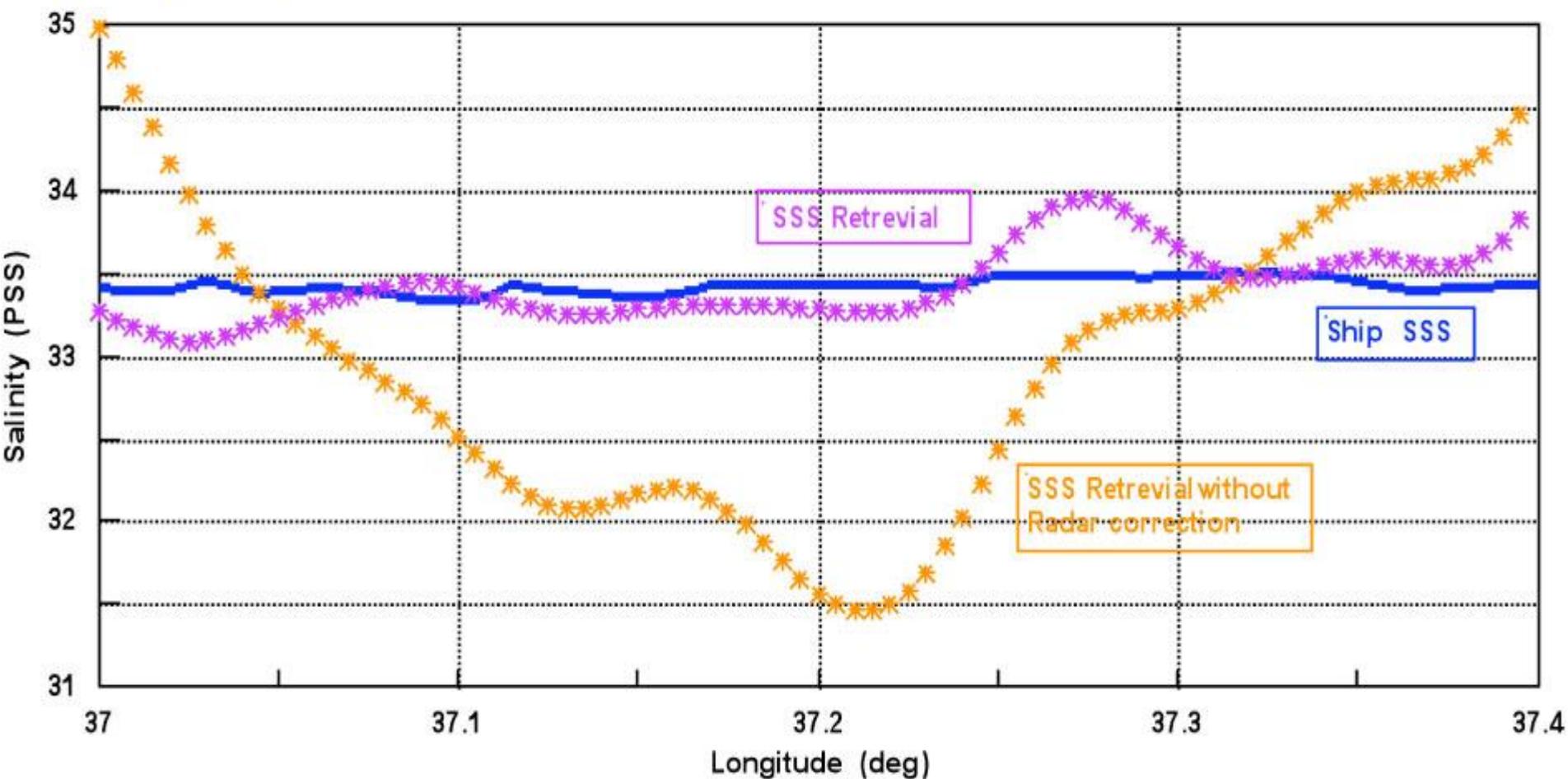


- Восстановление на основе принятых радиационно-геофизических моделей 2D- или 3D – пространственных распределений искомых геофизических параметров*

# Passive-Active L- and S-band Sensor (PALS) Aircraft Validation

Aircraft flights over Monterey Bay  
(Calif.) during 2000 and 2003

- Ship Observations
- ..... With Roughness Correction
- - - Without Roughness Correction





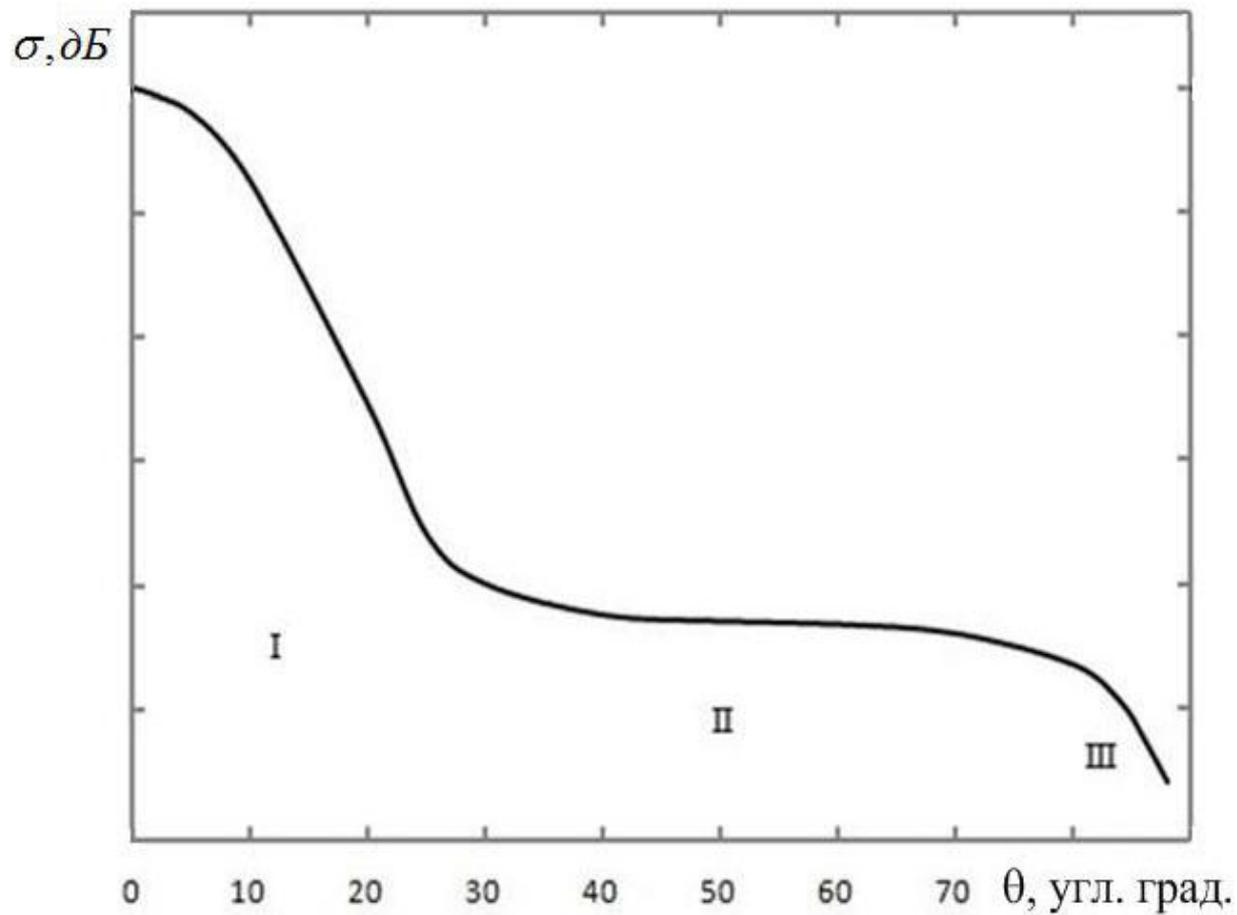


Рис.2.2.4 Типичный вид зависимости радиолокационного сечения рассеяния от угла падения для случая морской поверхности.

Метод Кирхгофа:

$$\Lambda \gg \lambda$$

$$(2\pi / \lambda) \cdot R_c \cdot \text{Cos}^3 \theta = k \cdot R_c \cdot \text{Cos}^3 \theta \gg 1$$

$$K^{up} = 2\pi / \Lambda_{\min} - ???$$

Метод малых возмущений (ММВ):

$$\sigma_h / \lambda \ll 1 \quad \text{и} \quad \sigma_h / \Lambda \ll 1 \quad \text{или}$$

$$\begin{cases} \sigma_h \cdot (2\pi / \lambda) \cdot \text{Cos} \theta = \sigma_h \cdot k \cdot \text{Cos} \theta \ll 1 \\ \sigma_h / l_h \ll 1 \end{cases}$$

$$K_d = 2\pi / \Lambda_{\max} - ???$$

**Таблица 1. Экспериментальная зависимость дисперсии уклонов крупных морских волн от величины скорости ветра на стандартной высоте измерения для случая развитого ветрового волнения.**

<i>Исследователи, район работ</i>	<i>Методика измерения и обработки</i>	<i>Сезон, время суток, диапазон значений скорости ветра</i>	<i>Дисперсия уклонов вдоль и поперёк направления приводного ветра</i>
<i>Кокс - Манк (1951-55), Тихий океан в районе Гавайских островов</i>	<i>Анализ стат-ки “солнечных бликов”, аэро-фотосъемка в оптическом диапазоне</i>	<i>Лето, время около полудня, скорость ветра на высоте 12.5м (≈13м) от 0.7 до 13.8 м/с</i>	$\sigma_x^2(U_{13}) = 0.00316U_{13} \pm 0.004$ $\sigma_y^2(U_{13}) = 0.003 + 0.00192U_{13} \pm 0.002$ $\sigma_x^2(U_{13}) + \sigma_y^2(U_{13}) =$ $= 0.003 + 0.00512U_{13} \pm 0.004$
<i>Бурицев - Пелевин (1975), прибрежный район Черного моря</i>	<i>Анализ стат-ки “световых бликов” от точечного искусственного источника</i>	<i>Лето, ночное время, скорость ветра на высоте 19.5м (≈20м) в диапазоне от 2 до 7 м/с</i>	$\sigma_x^2(U_{20}) = 0.00174 + 0.00157U_{20}$ $\sigma_y^2(U_{20}) = 0.00134 + 0.00120U_{20}$ $\sigma_x^2(U_{20}) + \sigma_y^2(U_{20}) =$ $= 0.0031 + 0.0028U_{20}$
<i>Калинин-Лейкин (1974), Каспийское море, 27 км от берега</i>	<i>контактные измерения 4-х струнным волнографом с базой 20-40 см</i>	<i>Осень, круглосуточно, скорость ветра от 6.6 до 14 м/с на высоте измерения 10м</i>	$\sigma_x^2(U_{10}) + \sigma_y^2(U_{10}) = 0.0021U_{10}$ $\langle \sigma_y^2(U_{10}) / \sigma_x^2(U_{10}) \rangle = 0.44$

*Besides those mentioned, there are the results of Pierson and Stacy (1973), Bjerkaas and Riedel (1979), Phillips (1985).*

The Hollinger- Wilheit method for the transition from Cox-Munk portion of the wind wave spectrum to the group of sea waves, “large enough for the used radiowave with length  $\lambda$  (frequency in GHz)”:

$$\sigma_r^2(f, V) = (0.3 + 0.02 \cdot f) \cdot \sigma_{KM}^2(V) \quad \text{for } f \leq 35 \text{ GHz,}$$

$$\sigma_r^2(f, V) = \sigma_{KM}^2(V) \quad \text{for } f \geq 35 \text{ GHz}$$

And approximation of foam influence factor in the following form:

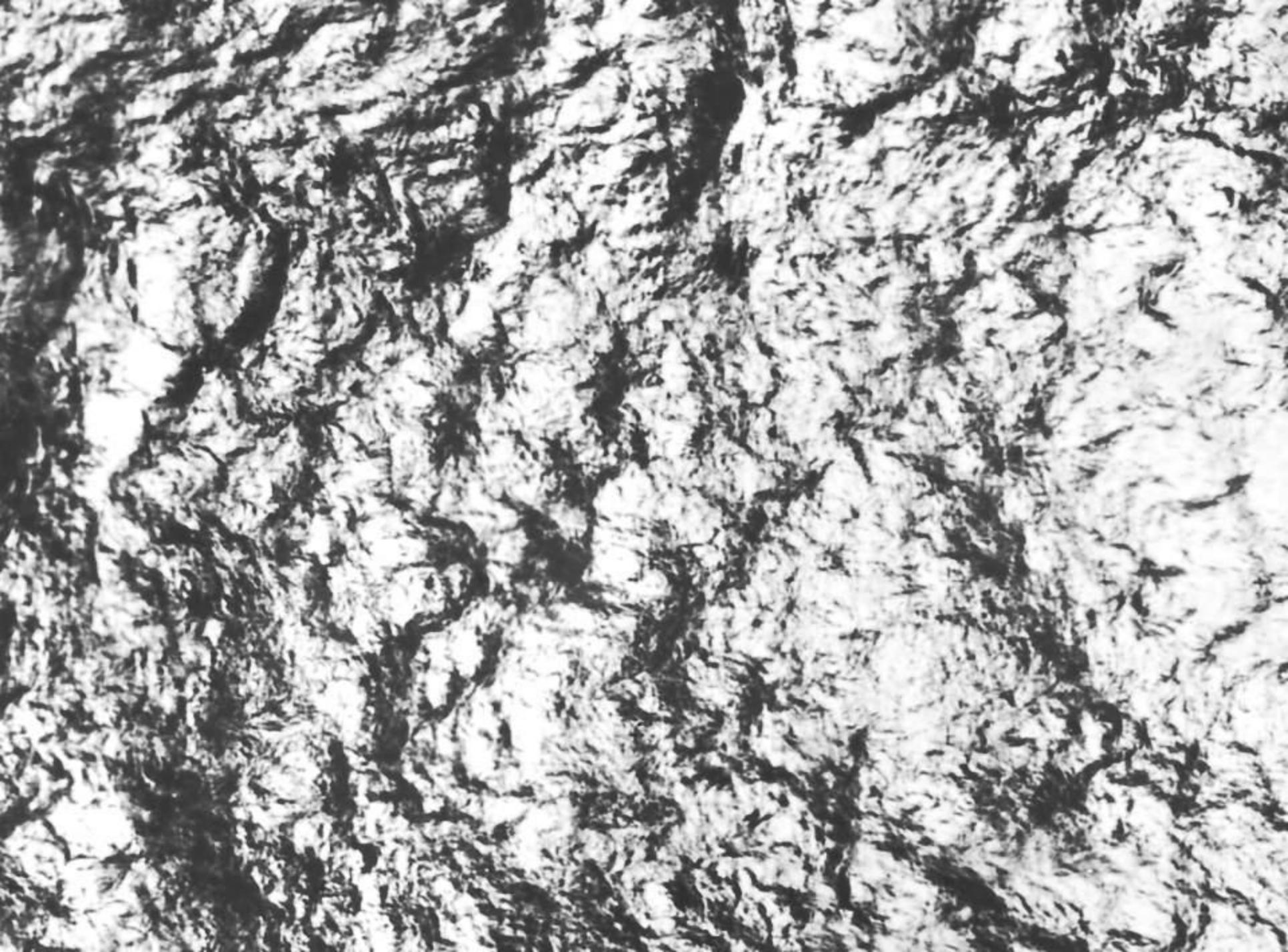
$$R_{sf}(f, \theta) = (1 - F_f) \cdot R_s(f, \theta), \quad \text{где}$$

$$F_f = a_0 \cdot (1 - \exp(-f / f_0)) \cdot (U_{20} - 7) \quad \text{при } U_{20} \geq 7 \text{ м/с}$$

$$F_f = 0 \quad \text{при } U_{20} < 7 \text{ м/с,}$$

$$f_0 = 7.5 \Gamma \Gamma u$$

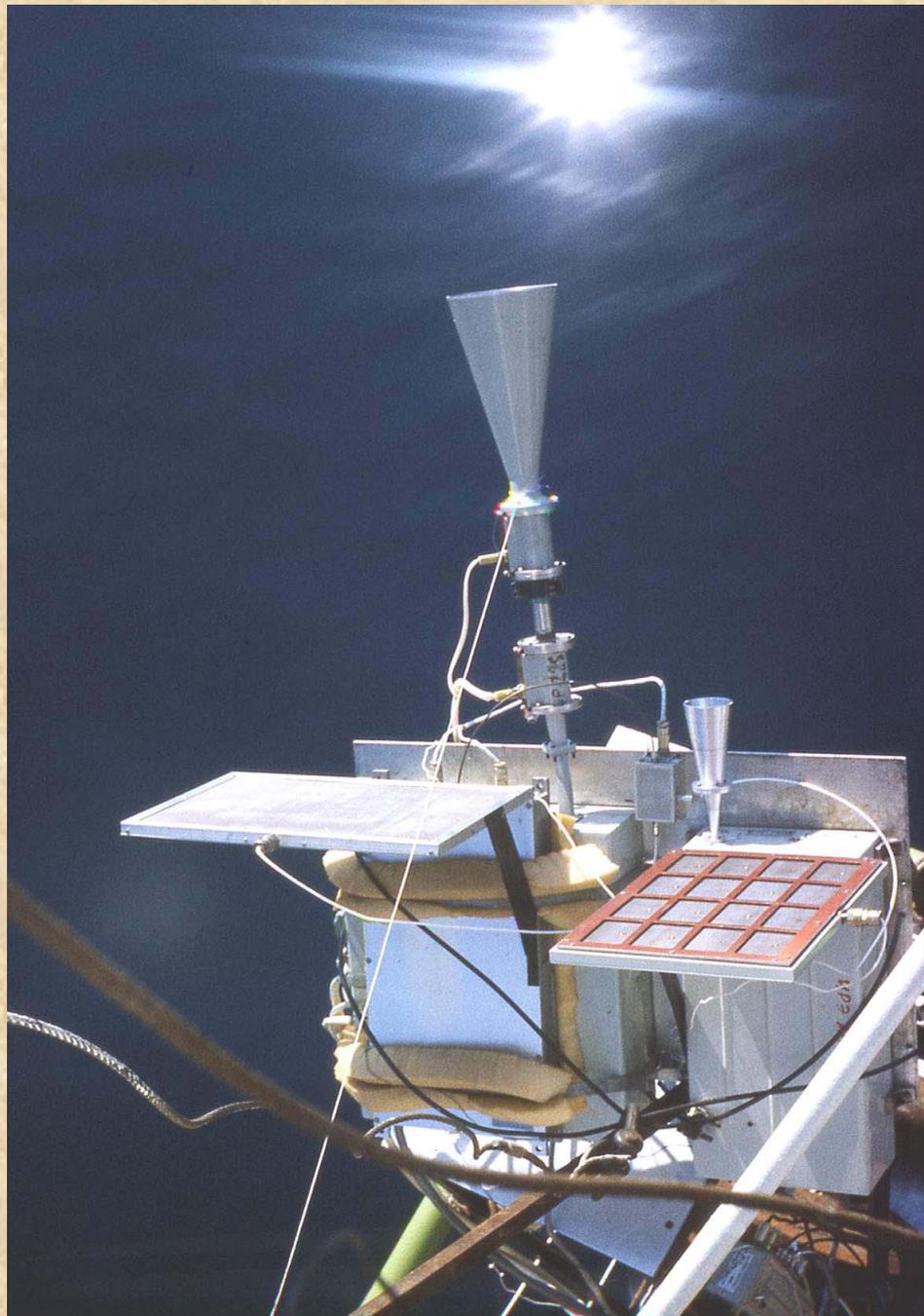
$$a_0 = 0.006 \text{ с/м (for North and Central Atlantic Ocean)}$$







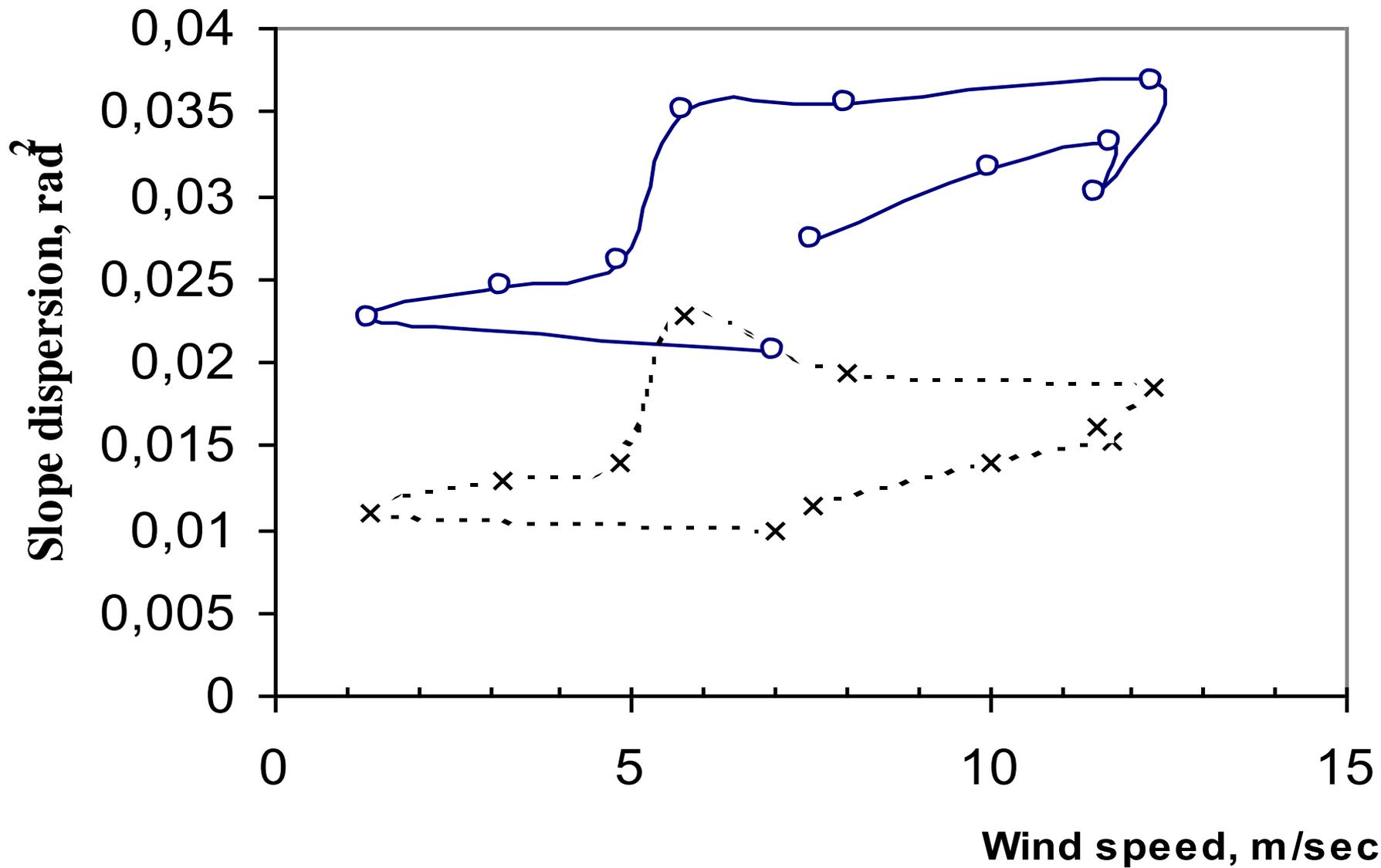


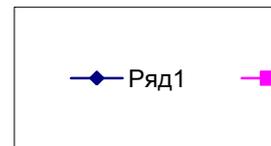
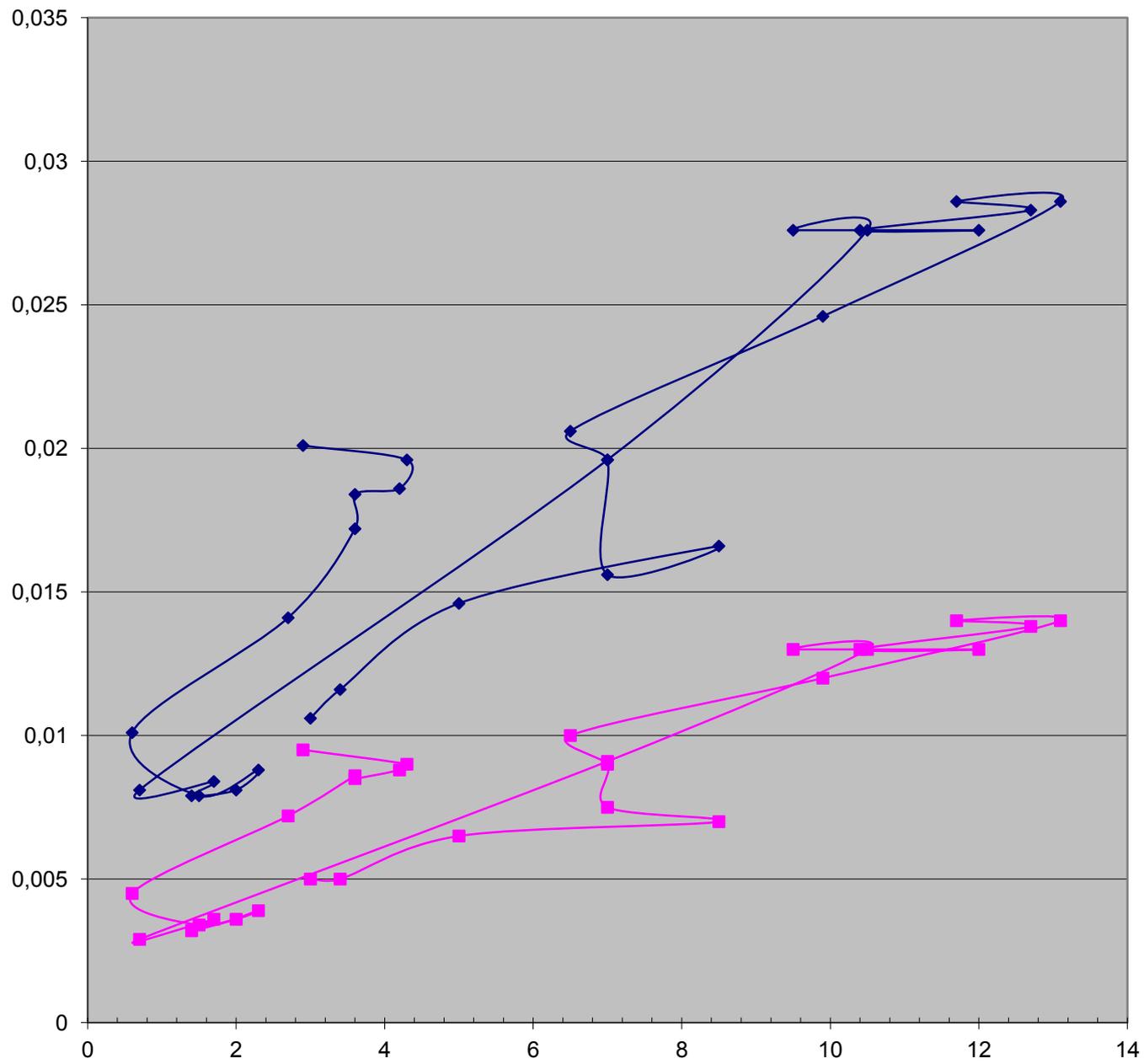


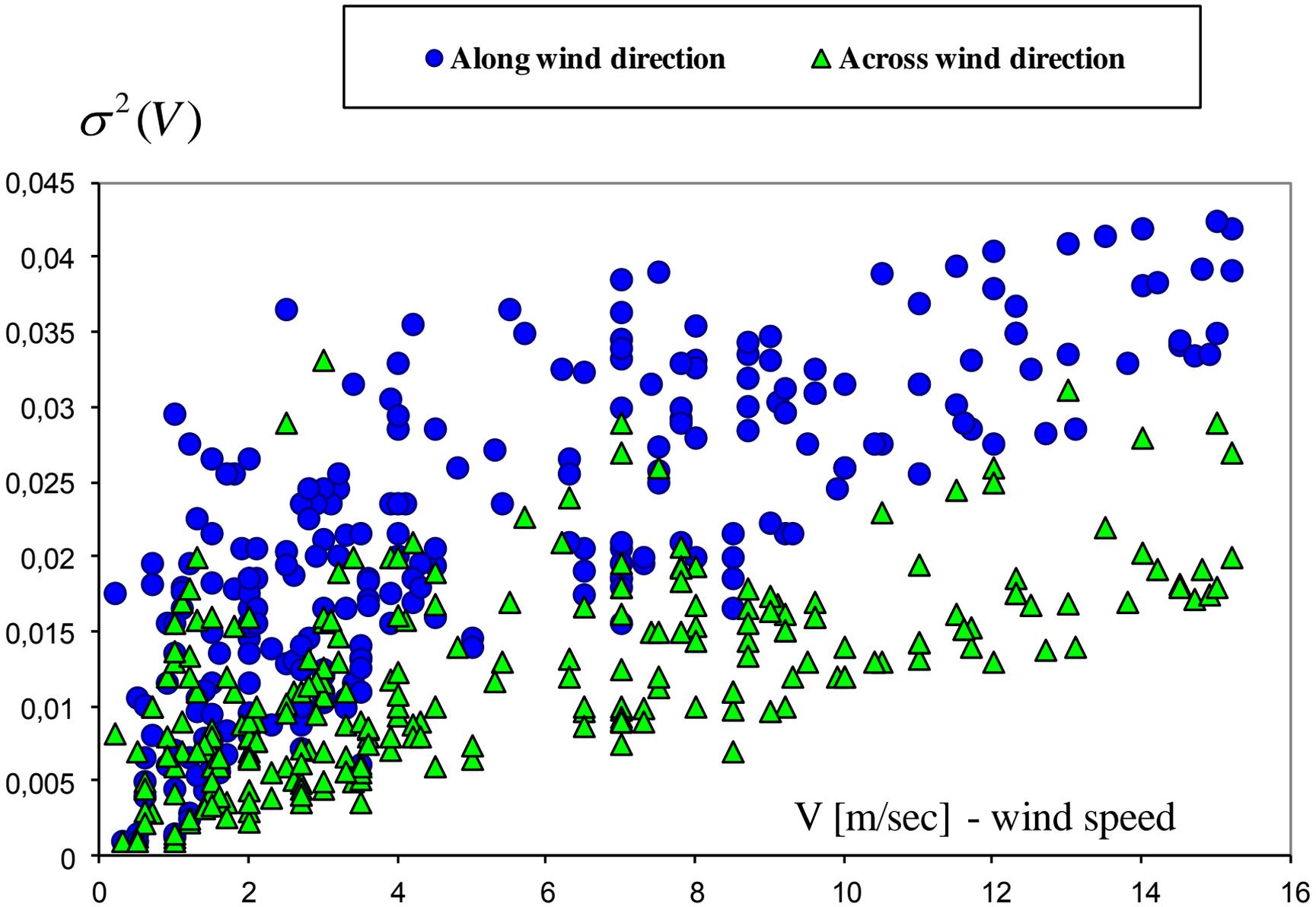




—○— Along wind direction    - - - x - - - Across wind direction



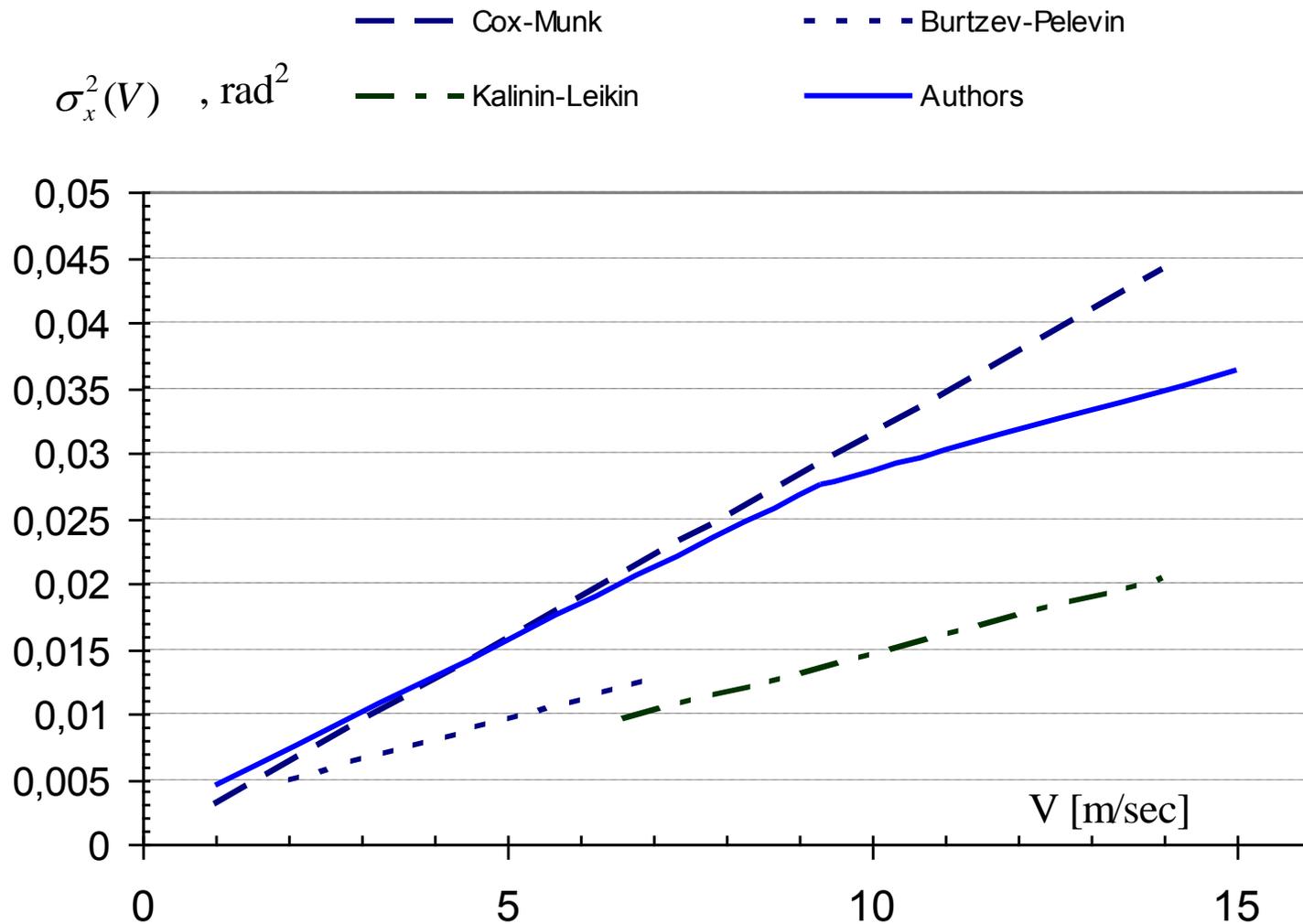




**Fig.6 Dependence of large wave slope dispersion on wind speed for height  $h=19.5$  m**

# Результаты анализа данных статистики морского волнения:

- Независимо от сезона наличие одной или нескольких систем зыби наблюдается не менее, чем в 60÷65% всех случаев! А ситуация собственно ветрового (более или менее) волнения значительно реже – не более 35÷40% случаев наблюдения!
- Из наблюдаемых ветровых волн не более половины случаев (15÷20% от общего числа), соответствуют выбранному критерию “достаточной развитости”. В остальных случаях отчетливо прослеживаются признаки неразвитости или последовательного затухания.
- Для зависимости дисперсии уклонов крупных развитых волн от величины скорости приводного ветра (на стандартной высоте 19.5 м) характерно наличие двух разных режимов динамического равновесия – со скоростью разгонного ветра до 8÷9 м/с (Область I) и от 9 до 15 м/с (Область II).



**Fig 9a. Dependence of large wave slope dispersion on wind speed (  $h=19.5$  m) along wind direction for full developed wind waving**

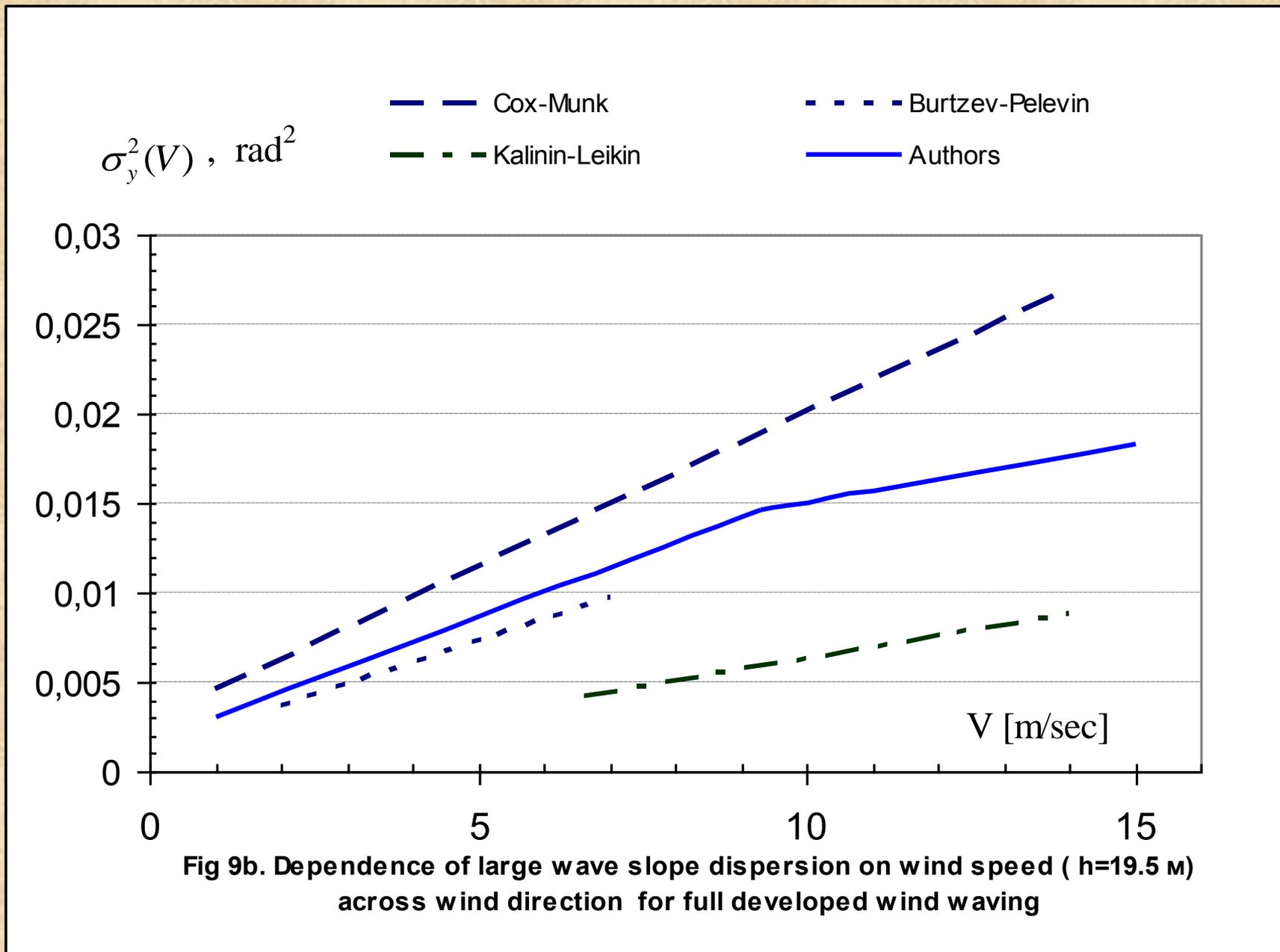
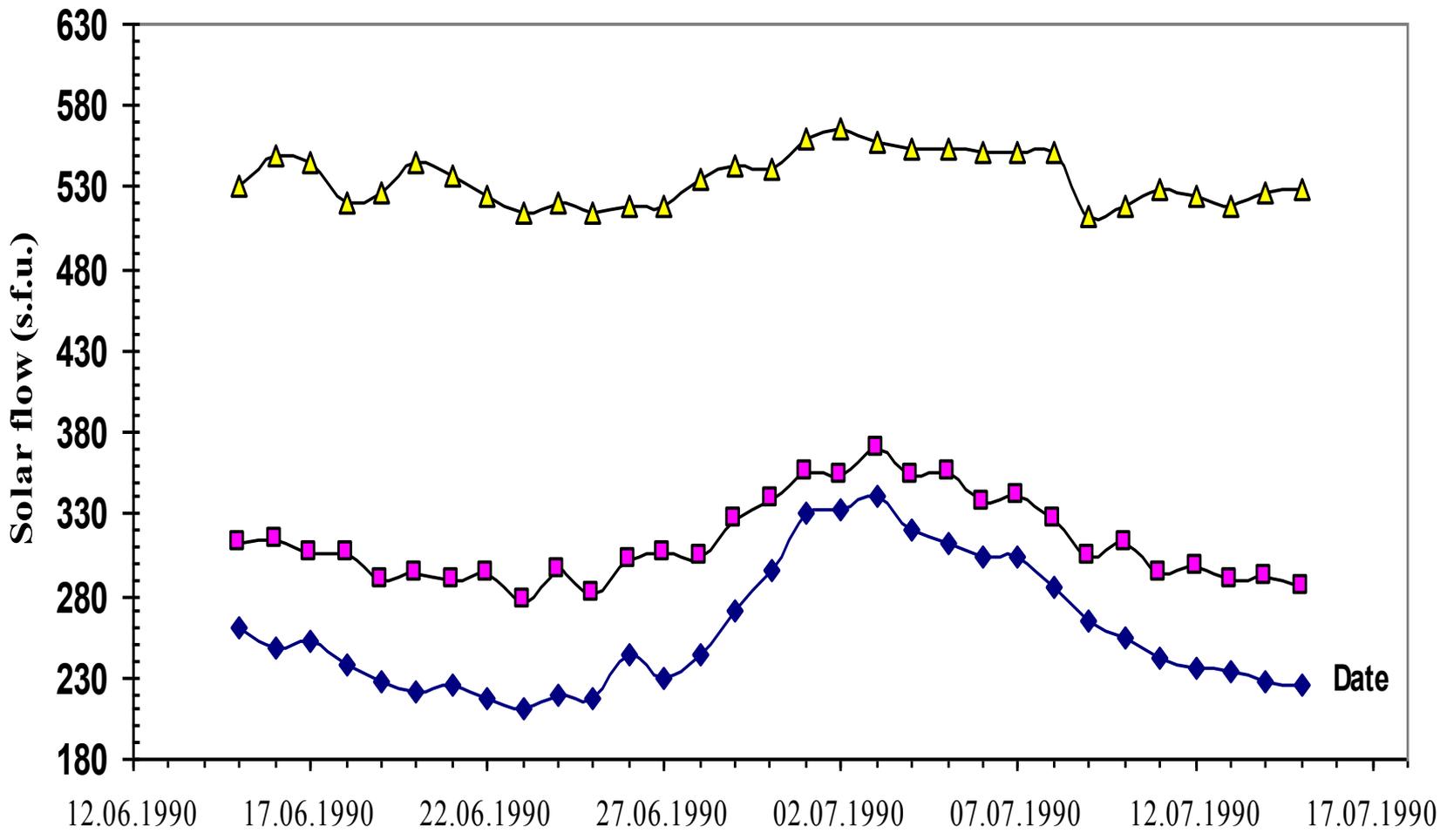
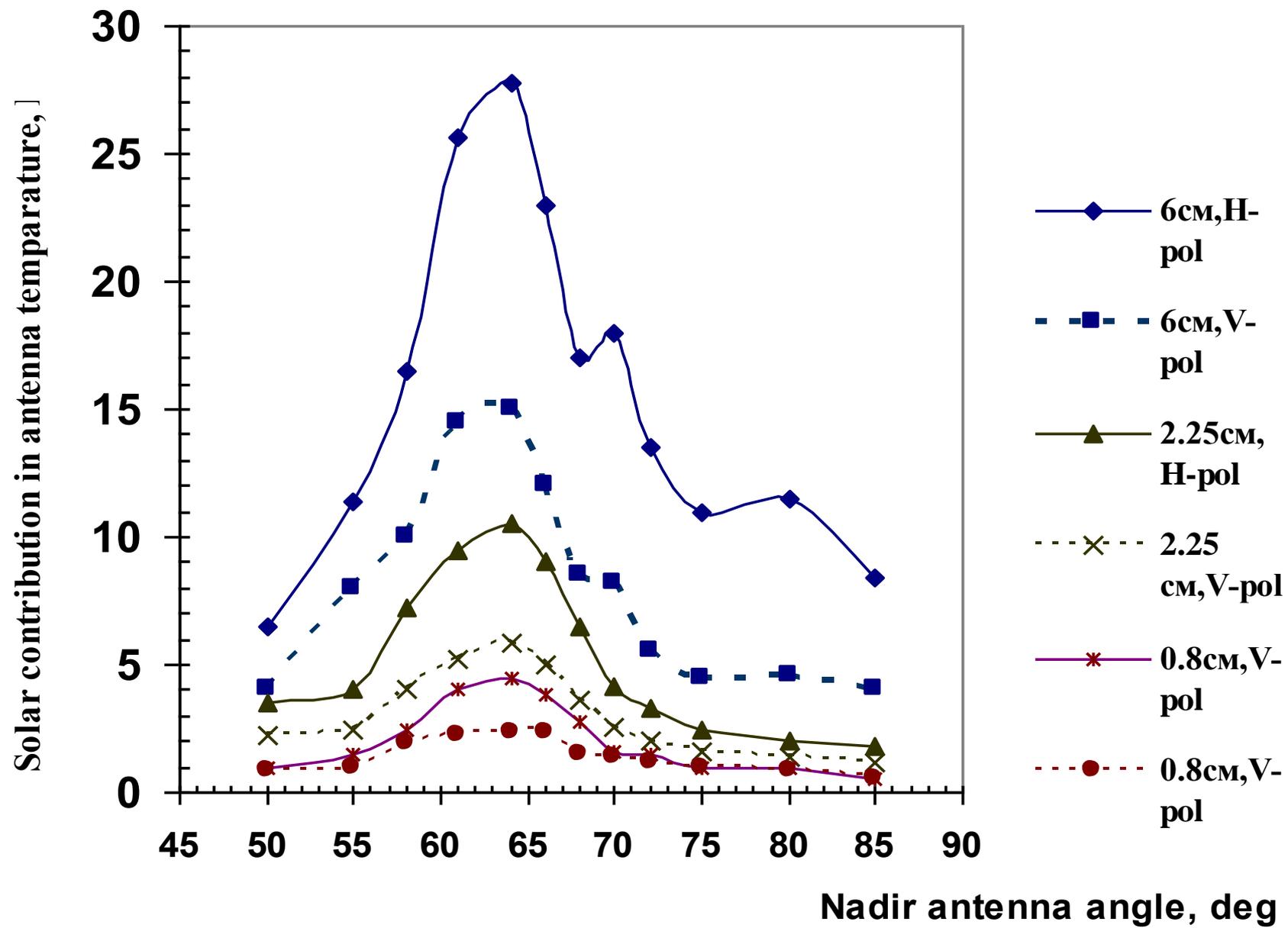


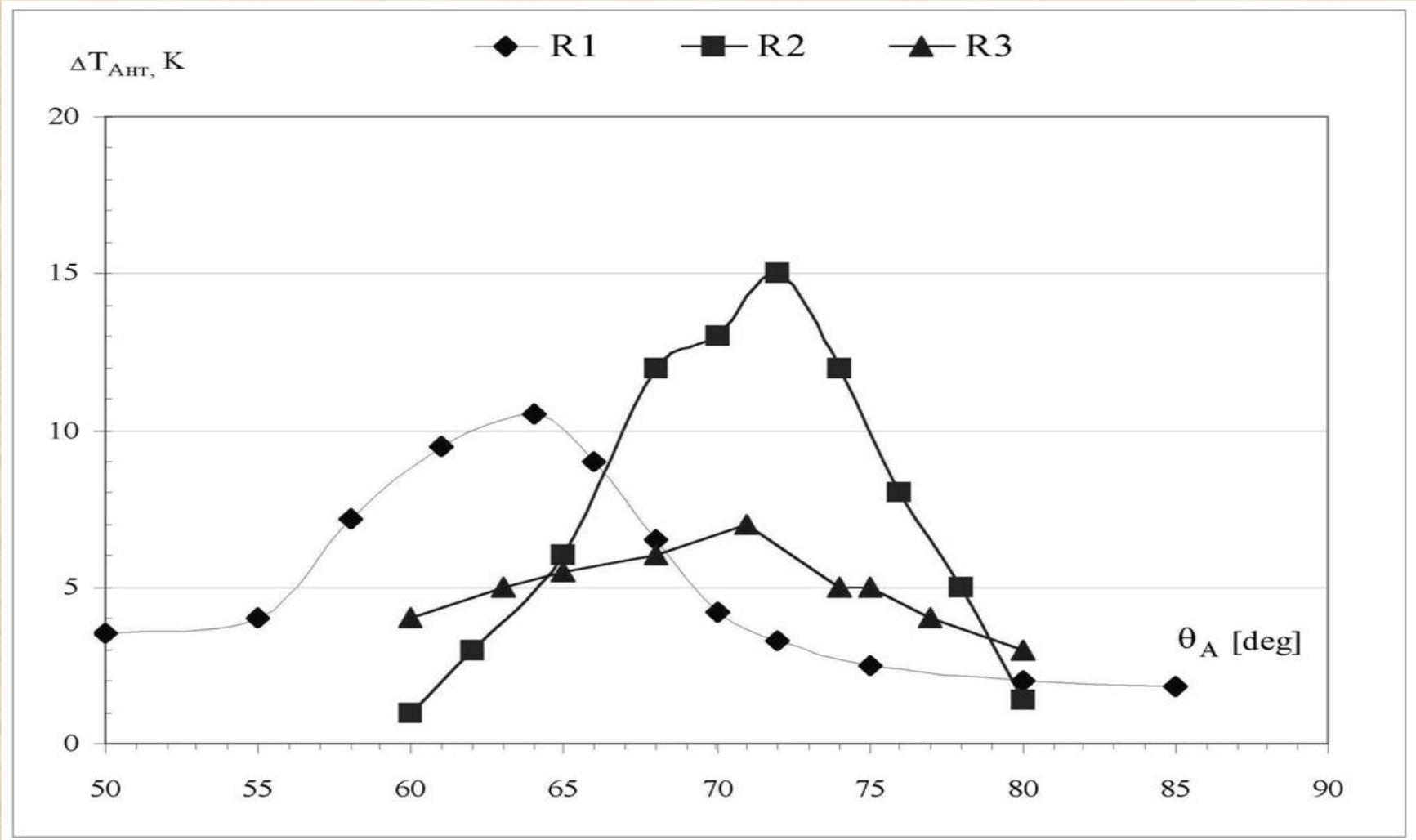
Fig 9b. Dependence of large wave slope dispersion on wind speed (  $h=19.5$  m) across wind direction for full developed wind waving



RAS Kislovodsk (KISV)

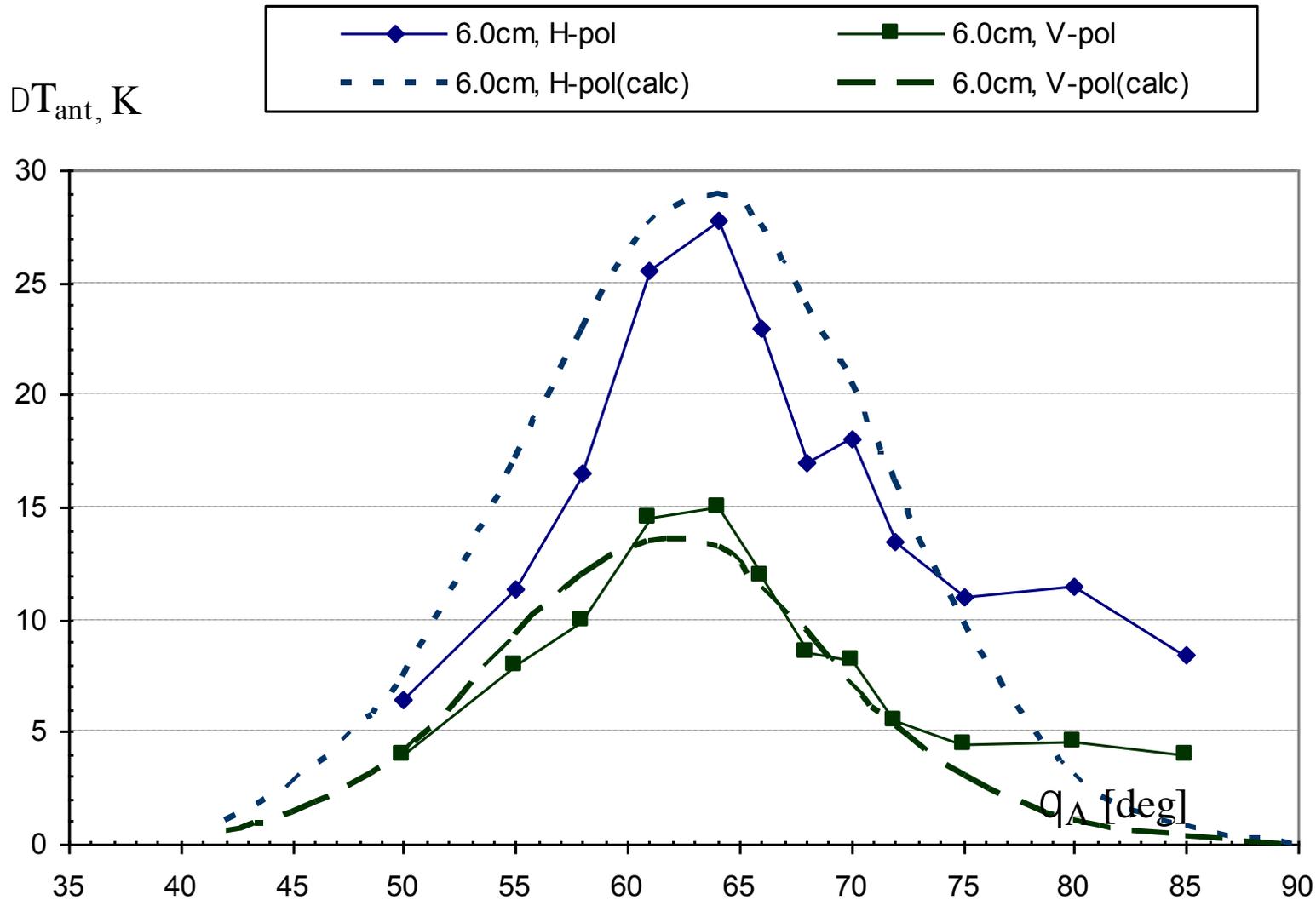


# Solar contribution to the radiometer antenna temperature (channel 2.25 H) in different conditions



$$\Delta(T_A) = \frac{S(\lambda) \cdot \lambda^2}{2k_b \Omega_A} \iint_{\Omega_M} A(\xi_x, \xi_y) \cdot r_{\theta, z}(\xi_x, \xi_y) \cdot W_n(\xi_x, \xi_y) d\xi_x d\xi_y +$$

$$+ \frac{S(\lambda) \cdot \lambda^2}{8\pi k_b} \iint A(\xi_x, \xi_y) \cdot v_{\theta, z}^{\text{diff}}(\xi_x, \xi_y) \cdot W_n(\xi_x, \xi_y) d\xi_x d\xi_y$$

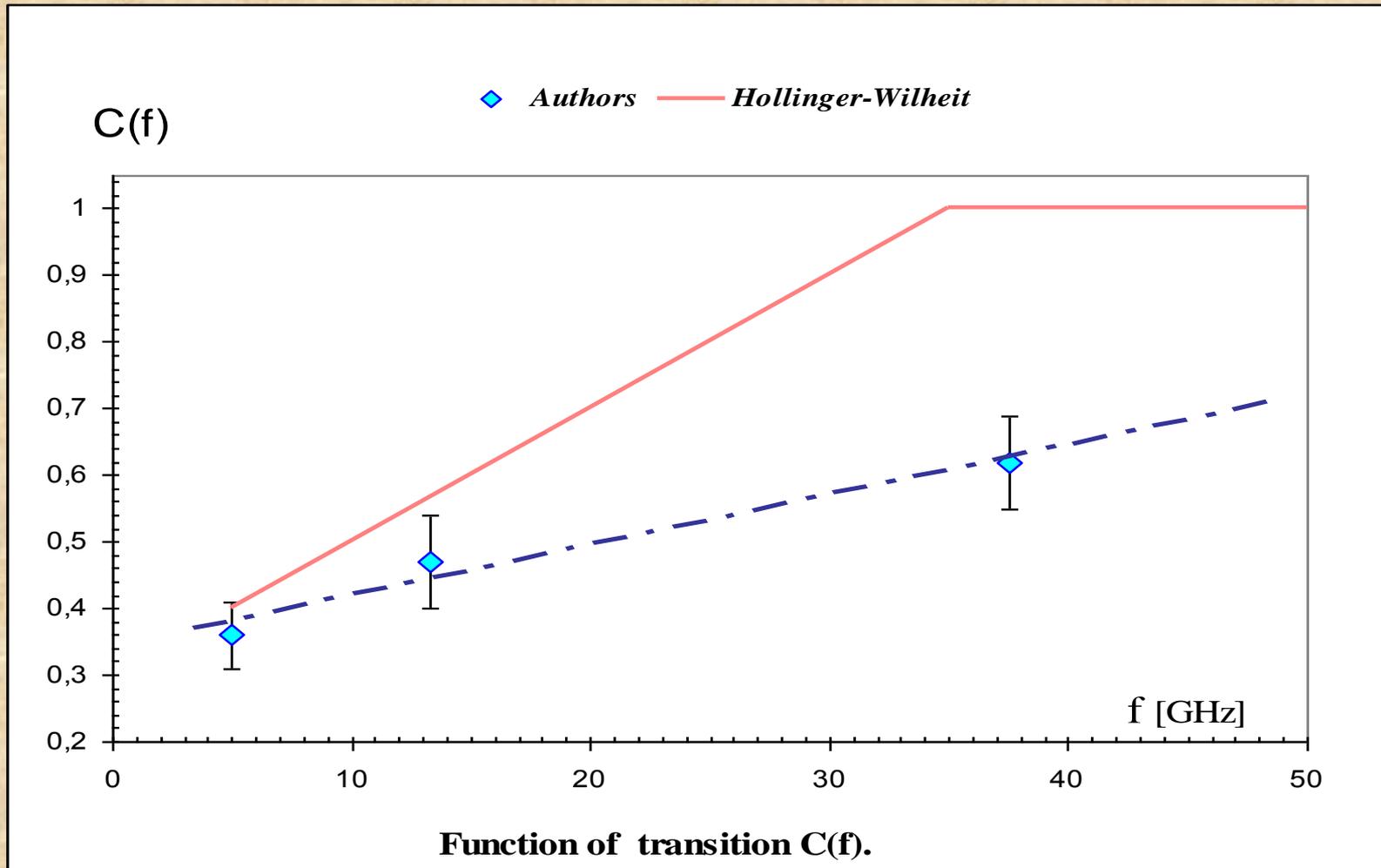


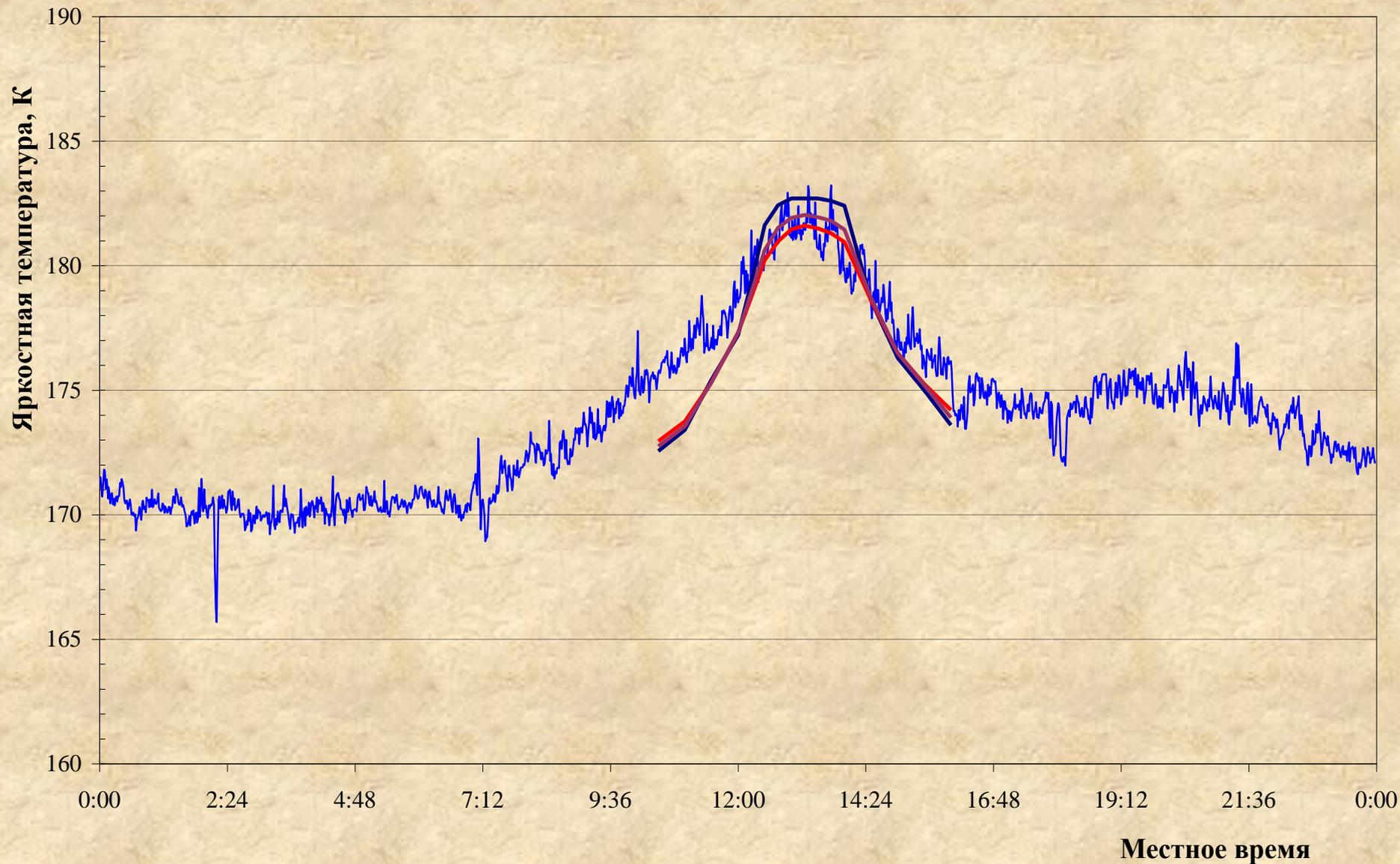
**Fig.10 Approximation of experimental data by theoretical calculations  
(08 June 1990)**

$$\sigma_r^2(f, V) = C(f) \cdot \sigma^2(V),$$

where  $\sigma^2(V)$  is concluded from (4.1a-c), but (4.2)

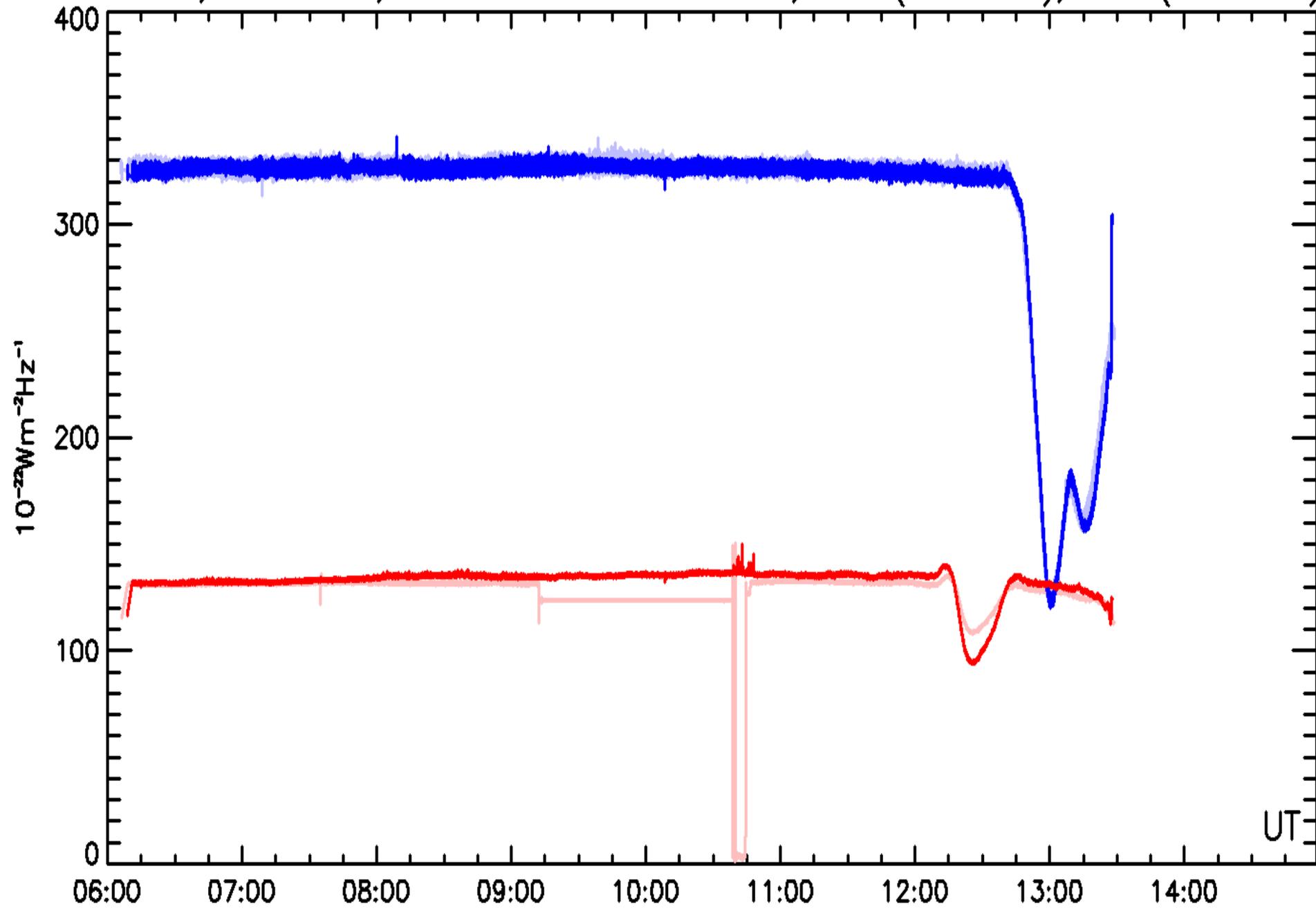
$$C(f) = 0.0076 \cdot f + 0.34.$$





*Сравнение теоретически рассчитанных и экспериментальных данных по прохождению отраженного Солнца через диаграмму направленности приемной антенны (23 октября 2009г.,  $\lambda=21.1$ см, вертикальная поляризация).*

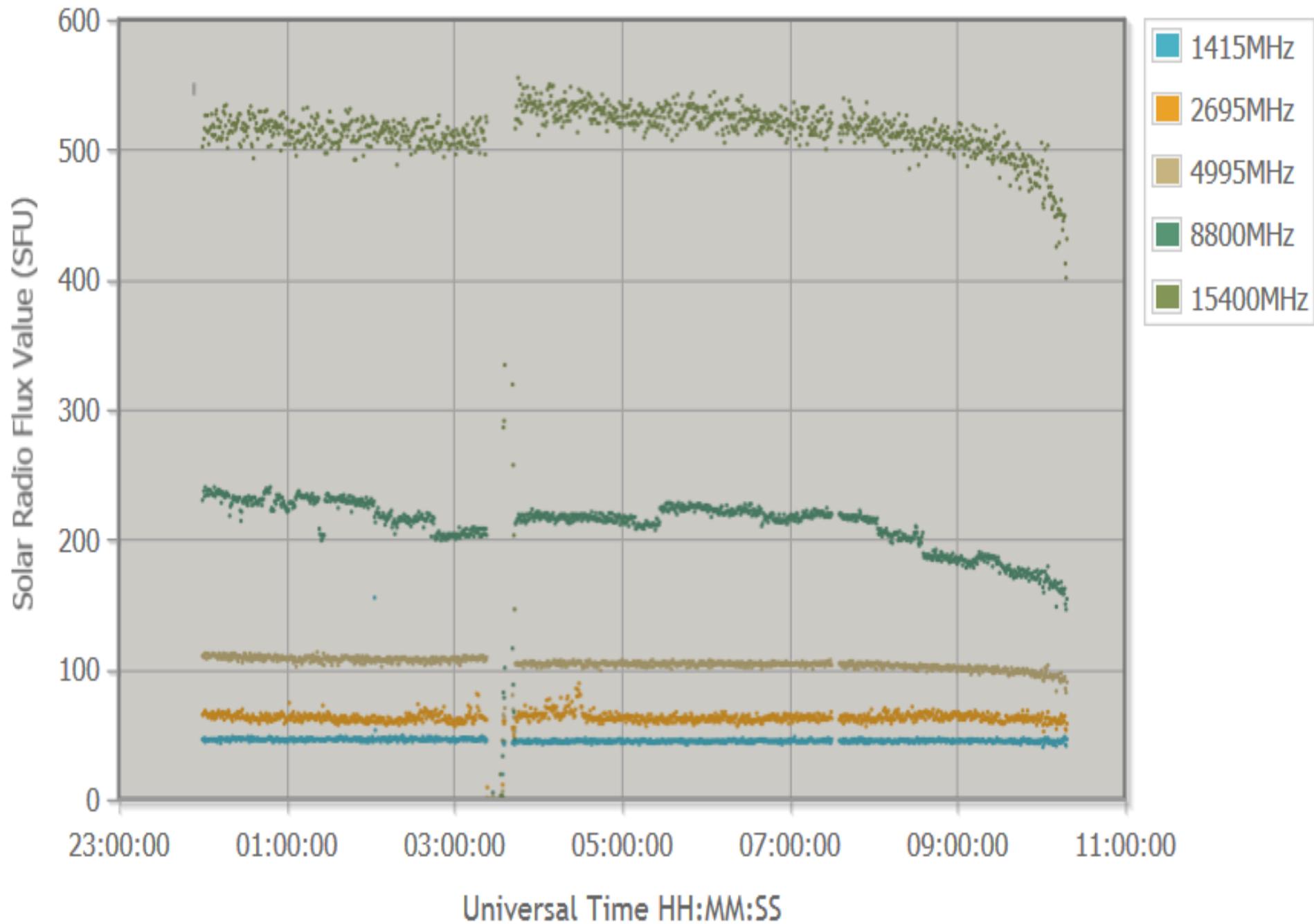
Russia, Kislovodsk, 11.11.2019 13:27:50 UTC, RT-2(9350MHz), RT-3(6150MHz)



UT

— 9350MHz (11.11.2019) — 6150MHz (11.11.2019) — 9350MHz (10.11.2019) — 6150MHz (10.11.2019)

Learmonth Solar Radio SRD data on 11/11/2019



A photograph of a sunset over the ocean. The sun is low on the horizon, creating a bright, shimmering reflection on the water's surface. The sky is a pale, hazy blue, and the water is a deep, dark blue. In the bottom left corner, there are some dark, jagged rocks. The overall mood is serene and peaceful.

Спасибо за внимание!