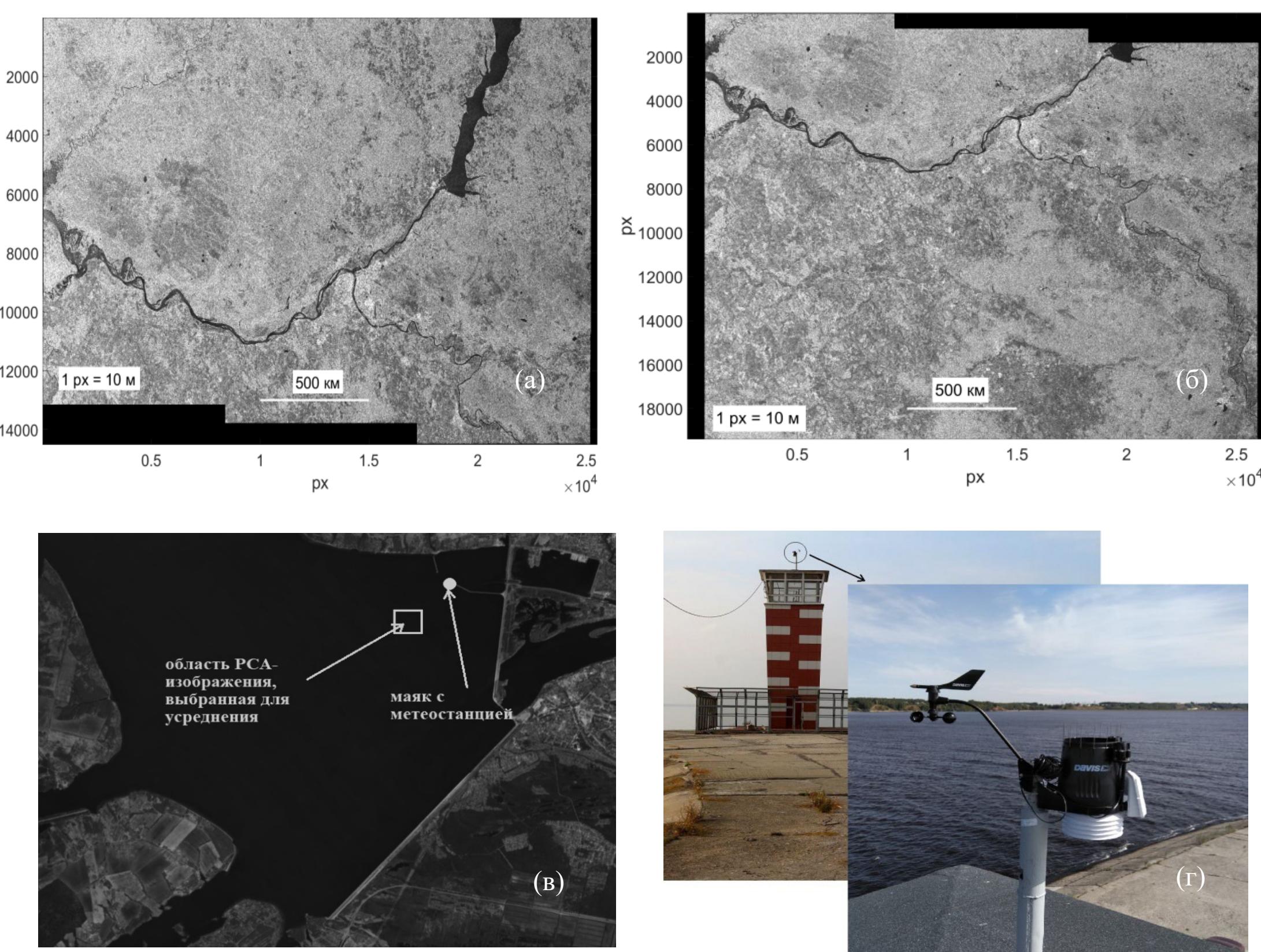


# Разработка геофизической модельной функции на основе двухмасштабной модели рассеяния электромагнитного излучения на взволнованной водной поверхности для условий Горьковского водохранилища

Русаков Н.С., Ермакова О.С., Поплавский Е.И., Даниличева О.А., Байдаков Г.А., Сергеев Д.А.

Институт прикладной физики РАН

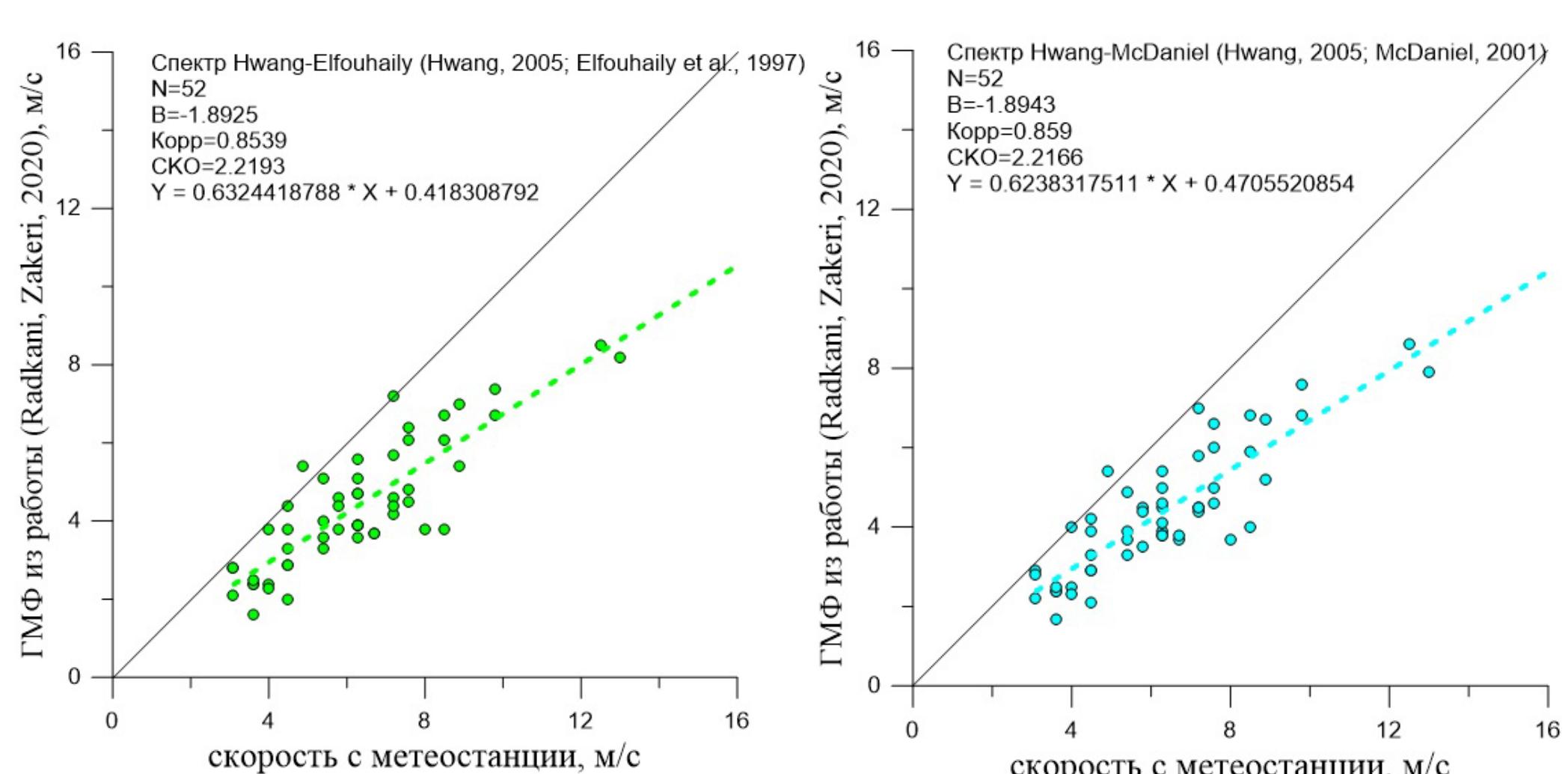
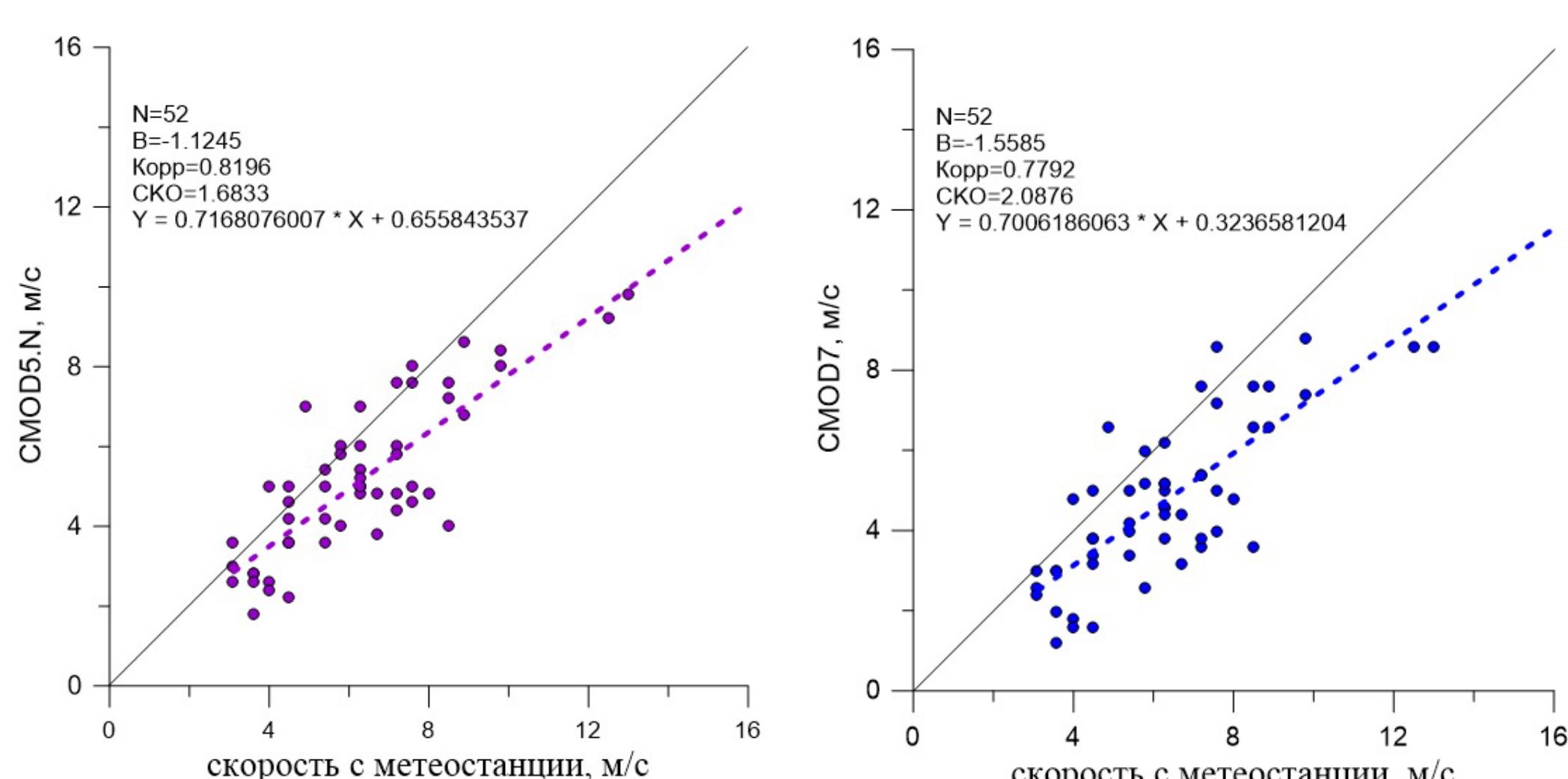
nikitarusakov@ipfran.ru



PCA-изображения Горьковского водохранилища со спутника Sentinel-1 (а) южная и центральная часть водохранилища; (б) южная часть водохранилища; (в) изображение южной части Горьковского водохранилища, с разметкой области обработки PCA-изображений; (г) маяк с метеостанцией.

Усредненное значение УЭПР для радиолокационных снимков рассчитывалось для квадратной области размером 500×500 м, центр которой был расположен на расстоянии 1.5 км от берега (рис.1) и в непосредственной близости (около 1 км западнее) от маяка. Углы падения для снимков имели два значения: 34.2 градуса и 41.7 градуса. Для анализа были отобраны 52 PCA-изображения на соосной поляризации VV за период 2017 – 2019 годов.

## Оценка работоспособности существующих алгоритмов восстановления скорости ветра по спутниковым данным для акватории Горьковского водохранилища



Результаты сопоставления измерений скорости ветра по данным метеостанции на Горьковском водохранилище и результатов расчета по моделям CMOD5.N, CMOD7, геофизической модельной функции из работы (Radkani, Zakeri, 2020) со спектрами Elfouhaily и Hwang (Elfouhaily et al., 1997; Hwang, 2005), геофизической модельной функции из работы (Radkani, Zakeri, 2020) со спектрами McDaniel и Hwang (Hwang, 2005; McDaniel, 2001). Сплошные черные прямые  $y=x$ , пунктирные линии – линейные аппроксимации.

## Моделирование УЭПР водной поверхности на основе двухмасштабной модели

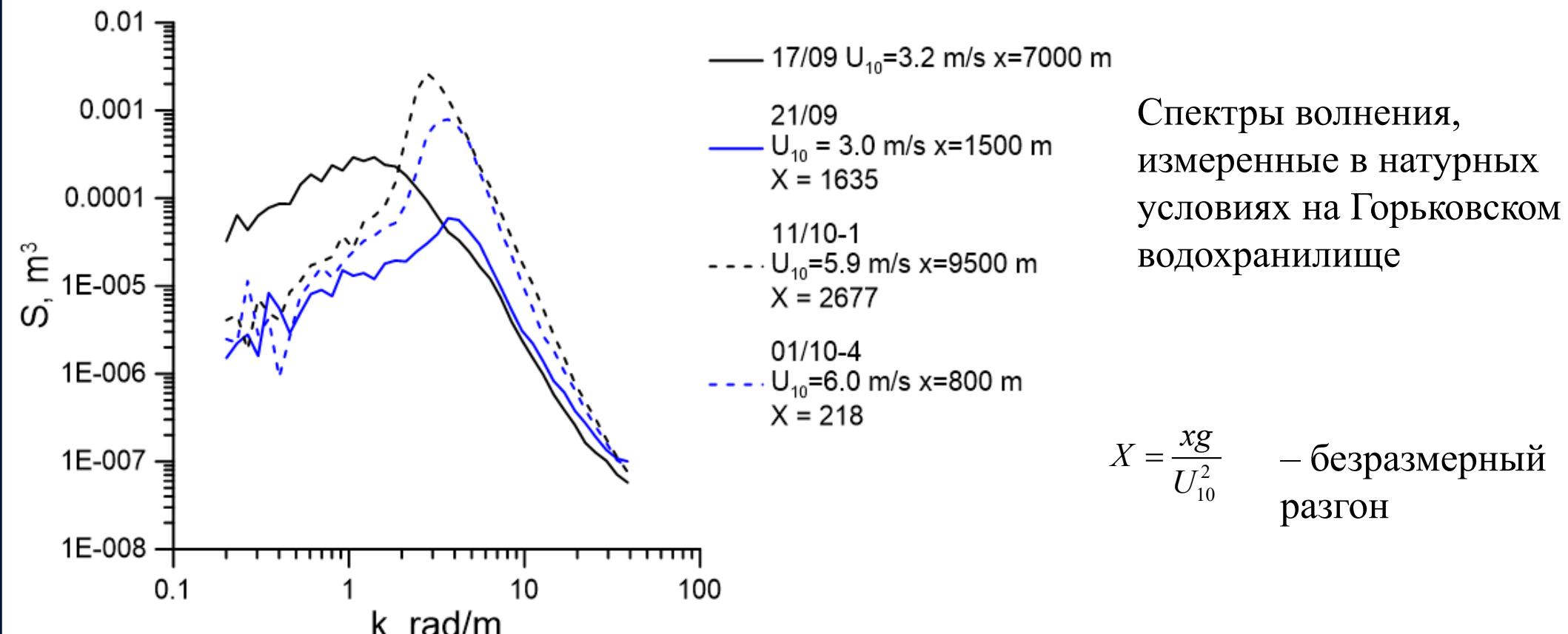
$$\sigma_{pp} = \frac{16\pi k_i^4 |G_{pp0}|^2}{k_{b0}^4} B(k_{b0}, \varphi) \left( 1 + g_{pp} \frac{\xi_x^2}{\xi_x^2 - B(k_{b0}, \varphi)} - \frac{M_{i0}^{pp}}{B(k_{b0}, \varphi)} \xi_x \tilde{B}(k_i, \varphi) \right) \quad \text{– выражение для УЭПР в рамках двухмасштабной модели}$$

$$|G_{VV}(\theta_i)|^2 = \frac{(\varepsilon - 1)^2 \cos^4 \theta_i (\varepsilon (1 + \sin^2 \theta_i) - \sin^2 \theta_i)^2}{(\varepsilon \cos \theta_i + \sqrt{\varepsilon - \sin^2 \theta_i})^4}, \quad |G_{HH}(\theta_i)|^2 = \frac{(\varepsilon - 1)^2 \cos^4 \theta_i}{(\cos \theta_i + \sqrt{\varepsilon - \sin^2 \theta_i})^4} \quad \text{– коэффициенты рассеяния для соосных поляризаций}$$

$$g_{VV} = \frac{1}{2\sigma_{b0}^{VV}} \frac{\partial^2 \sigma_{b0}^{VV}}{\partial^2 \theta_i^2}, \quad g_{HH} = \frac{1}{2\sigma_{b0}^{HH}} \frac{\partial^2 \sigma_{b0}^{HH}}{\partial^2 \theta_i^2} + \left( \frac{2}{\sin^2 \theta_i} \right) G_{VV}(\theta_i) \quad M_{i0}^{pp} = \frac{1}{\sigma_{b0}^{pp}} \frac{\partial \sigma_{b0}^{pp}}{\partial \theta_i} \quad k_{b0} = 2k_i \sin \theta_i$$

$$\sigma_{b0}^{pp} = \frac{16\pi k_i^4 |G_{pp0}|^2}{k_{b0}^4} B(k_{b0}, \varphi) \quad \text{– удельная эффективная площадь водной поверхности для «чистого» Брагговского рассеяния}$$

## Построение геофизической модельной функции для восстановления скорости ветра в акватории Горьковского водохранилища



Расчеты проводились с шагом 2,5° для угла падения, 5° для относительного направления ветра, 0,1 м/с для скорости ветра и 500 для безразмерного ветрового разгона. Диапазон углов падения составлял 30°–45°, а для относительного направления ветра рассматривался диапазон 0°–180°.

$$\sigma = A_0(U_{10}, \theta_i, X) + A_1(U_{10}, \theta_i, X) \cos(\varphi) + A_2(U_{10}, \theta_i, X) \cos(2\varphi)$$

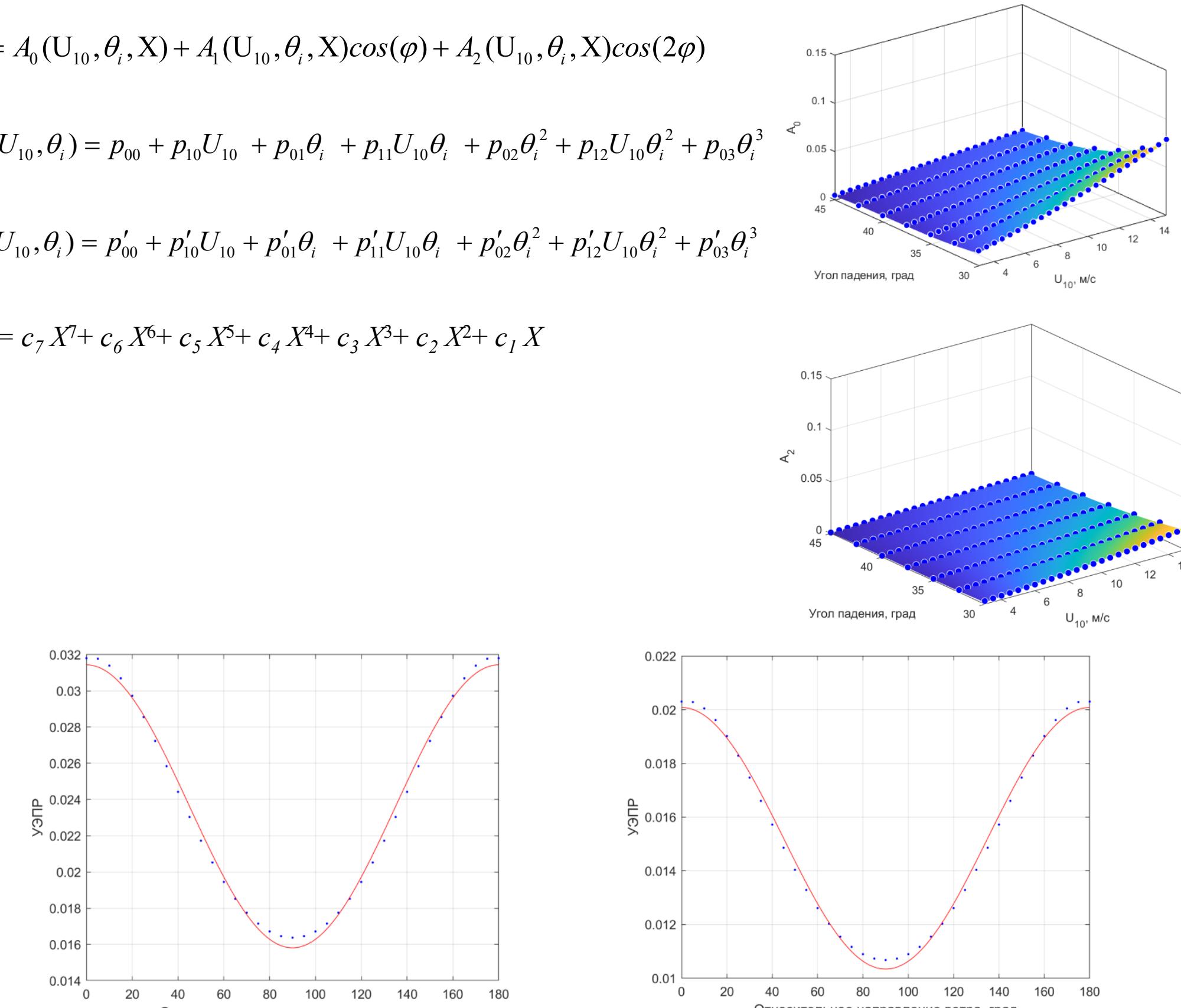
$$A_0(U_{10}, \theta_i) = p_{00} + p_{10}U_{10} + p_{01}\theta_i + p_{11}U_{10}\theta_i + p_{02}\theta_i^2 + p_{12}U_{10}\theta_i^2 + p_{03}\theta_i^3$$

$$A_2(U_{10}, \theta_i) = p'_{00} + p'_{10}U_{10} + p'_{01}\theta_i + p'_{11}U_{10}\theta_i + p'_{02}\theta_i^2 + p'_{12}U_{10}\theta_i^2 + p'_{03}\theta_i^3$$

$$p_{ij} = c_7 X^7 + c_6 X^6 + c_5 X^5 + c_4 X^4 + c_3 X^3 + c_2 X^2 + c_1 X$$

Спектры волнения, измеренные в натурных условиях на Горьковском водохранилище

$$X = \frac{xg}{U_{10}^2} \quad \text{– безразмерный разгон}$$



Зависимость УЭПР от относительного направления ветра, для угла падения  $\theta_i=30^\circ$ ,  $U_{10}=5$  м/с и безразмерного ветрового разгона 2000 и 20000. Аппроксимация зависимостей  $A_0$  и  $A_2$  от угла падения и скорости ветра  $U_{10}$  для безразмерного разгона 2000.

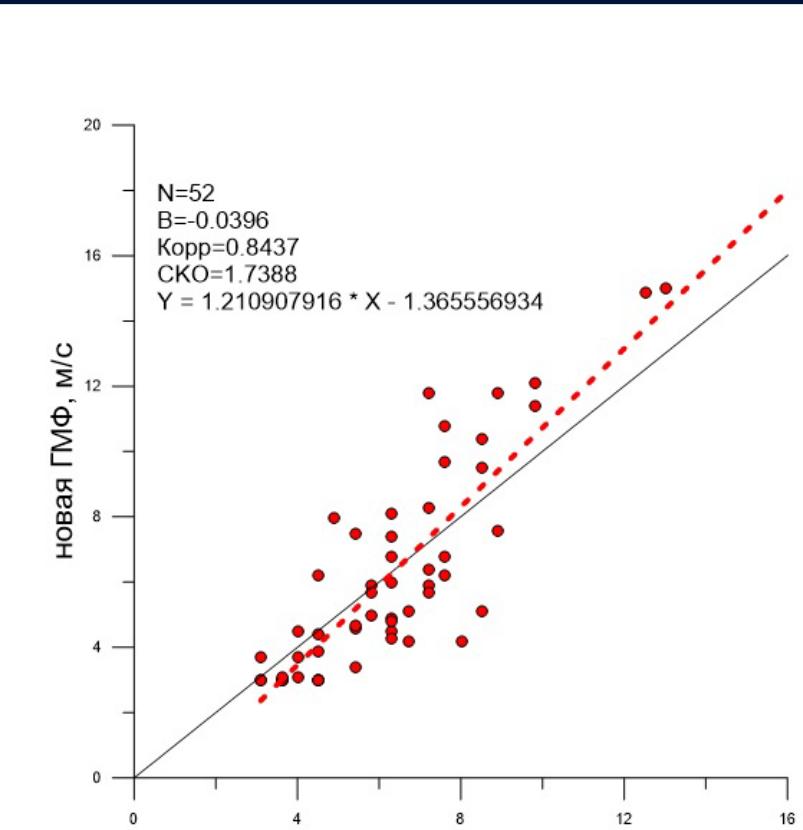
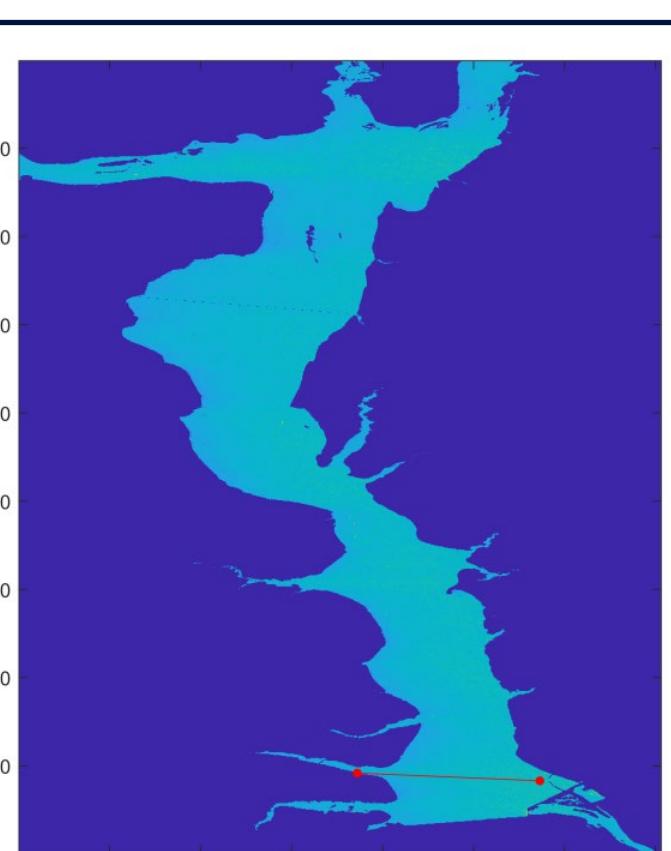


Иллюстрация расчета величины ветрового разгона (красным цветом) на примере PCA-изображения Sentinel-1A от 07.08.2019, направление ветра 275°; результаты сопоставления измерений скорости ветра по данным метеостанции на Горьковском водохранилище и результатов расчета на основе разработанной ГМФ.