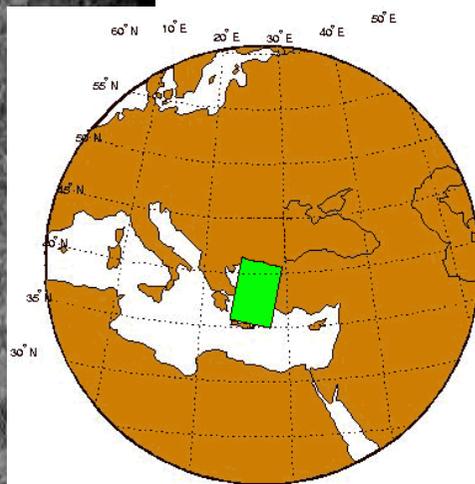
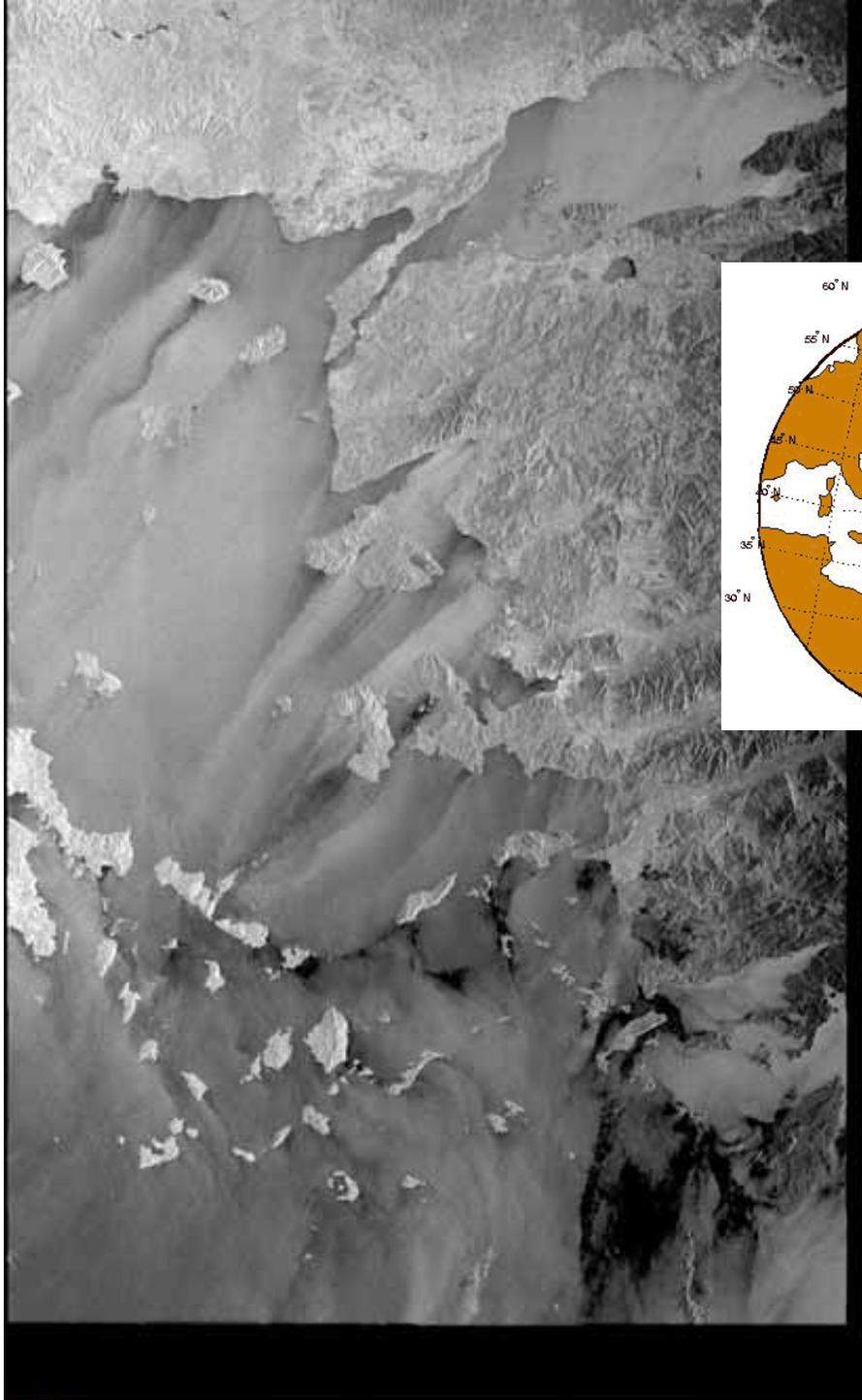


О точности восстановления поля ветра в прибрежной зоне по РЛ изображениям

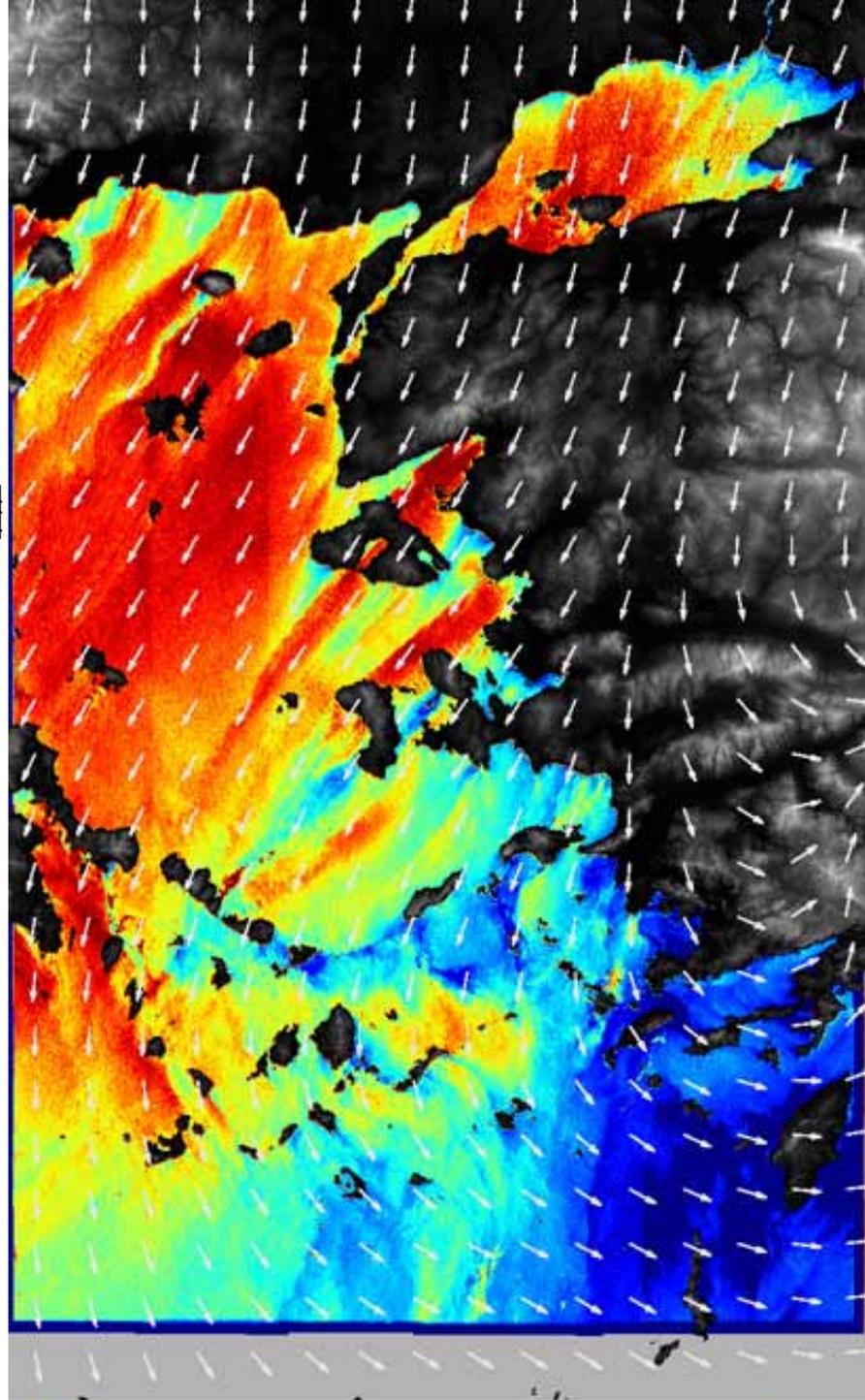
Д. Акимов, В. Кудрявцев, Н. Иванова, О. Йоханнессен

Международный Центр по Окружающей Среде и Дистанционному
Зондированию им. Нансена, С.-Петербург, Россия

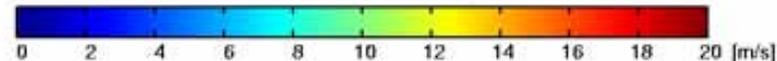
Nansen Environmental and Remote Sensing Center, Bergen, Norway



Envisat ASAR WSM V/V DESCENDING
06-NOV-2007 08:20:24



Envisat ASAR Wind Speed 06-NOV-2007 08:20:24
Wind direction: NCEP 0.5 degree - Algorithm: CMOD 4



Цель

Оценить точность восстановления поля ветра по РЛ изображениям в условиях ограниченного разгона волн, типичного для прибрежных зон и зон на границе раздела лед-вода

Задачи

Проанализировать рассеяние радиоволн на морской поверхности при различных стадиях развития ветрового волнения

Предложить коррекцию широко используемых эмпирических радиолокационных функций типа CMOD, учитывающую этот эффект

Инструмент

Полуэмпирическая модель формирования РЛ изображения морской поверхности, предложенная в [1]

[1] Kudryavtsev V., Hauser D., Caudal G., Chapron B (2003). A semiempirical model of the normalized radar cross-section of the sea surface: 1. Background model. J. Geophys. Res., 108. No. C3, 8054, doi:10.1029/2001JC001003.

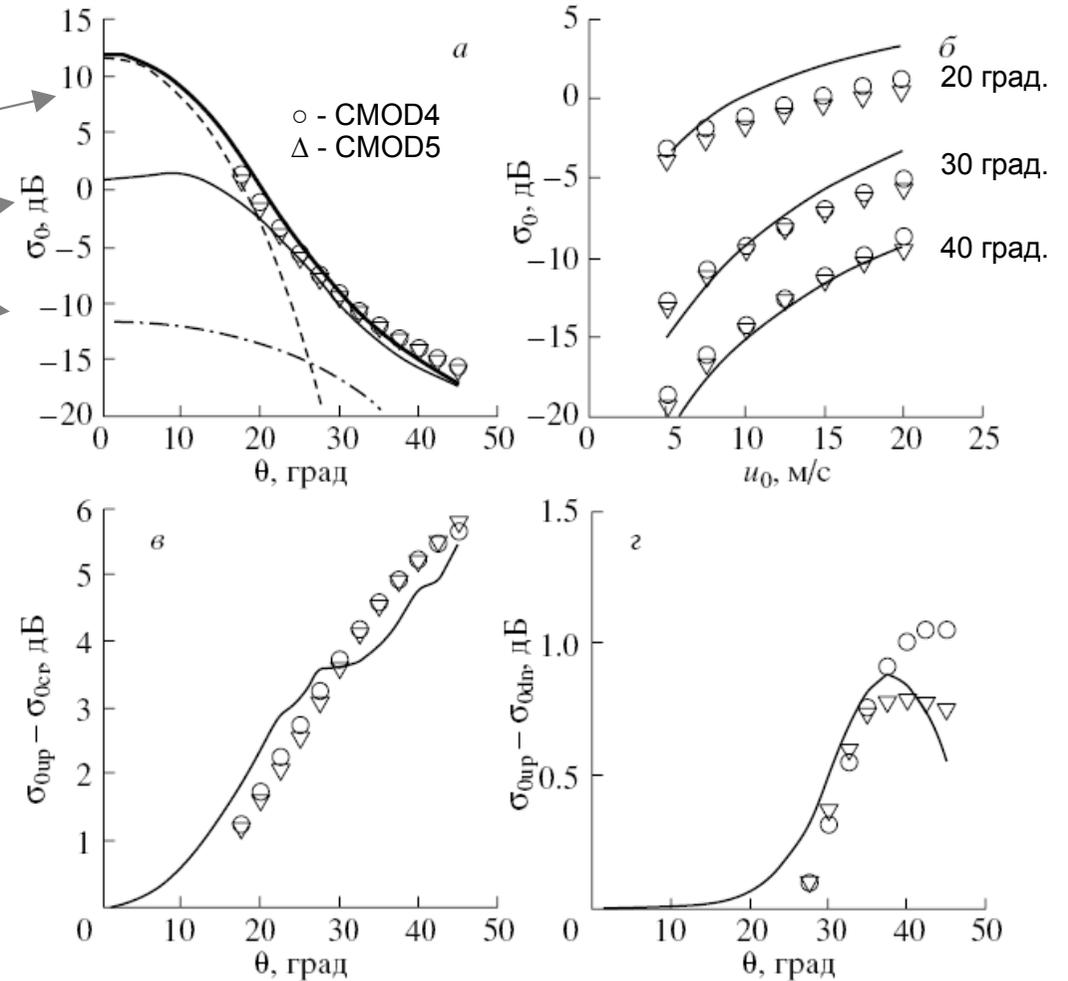
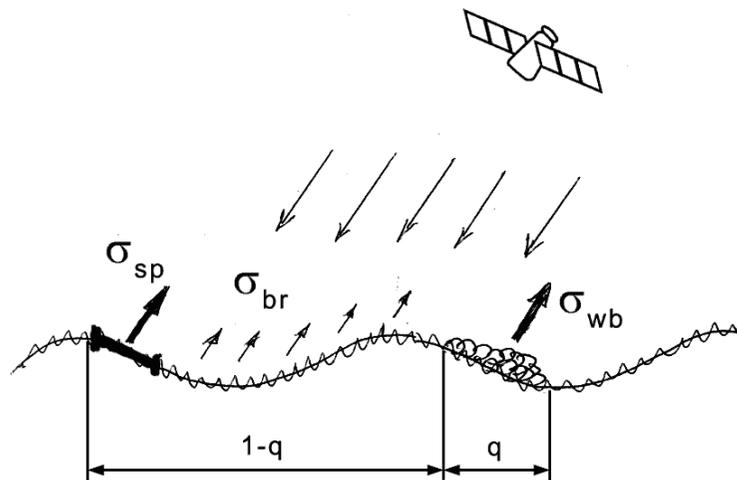
Модель УЭПР морской поверхности

$$\sigma_0^p = \sigma_{sp}(1-q) + \sigma_{br}^p(1-q) + \sigma_{ob}q$$

Квазизеркальное
отражение

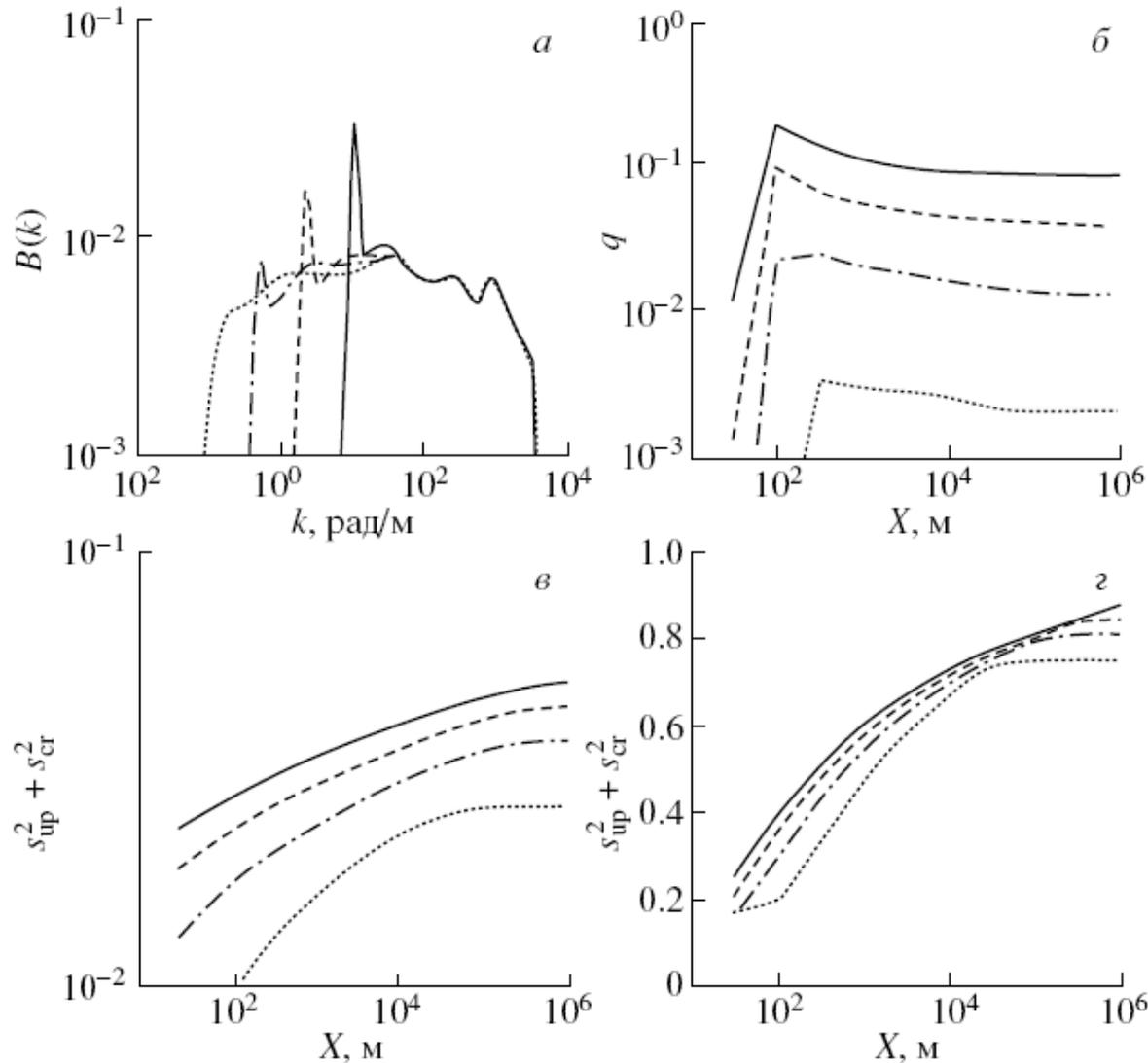
Бреговое
рассеяние

Рассеяние на
обрушениях
волн



- а) Зависимость УЭПР от угла падения при $U=10\text{ м/с}$
- б) Зависимость УЭПР от скорости ветра
- в) Азимутальная анизотропия УЭПР между наветренным и перпендикулярным направлением при $U=10\text{ м/с}$.
- г) Азимутальная анизотропия УЭПР между наветренным и подветренным направлением при $U=10\text{ м/с}$

Статистические характеристики поверхности



$$s_{up}^2 = \int_{k < k_d} \cos^2 \varphi \cdot k^{-2} B(\mathbf{k}) d\mathbf{k}$$

$$s_{cr}^2 = \int_{k < k_d} \sin^2 \varphi \cdot k^{-2} B(\mathbf{k}) d\mathbf{k}$$

а) Спектр насыщения при $U=10$ м/с для разгонов: 100м (сплошная линия), 1км (штрих), 10км (штрих-пунктир), и 100км (пунктир).

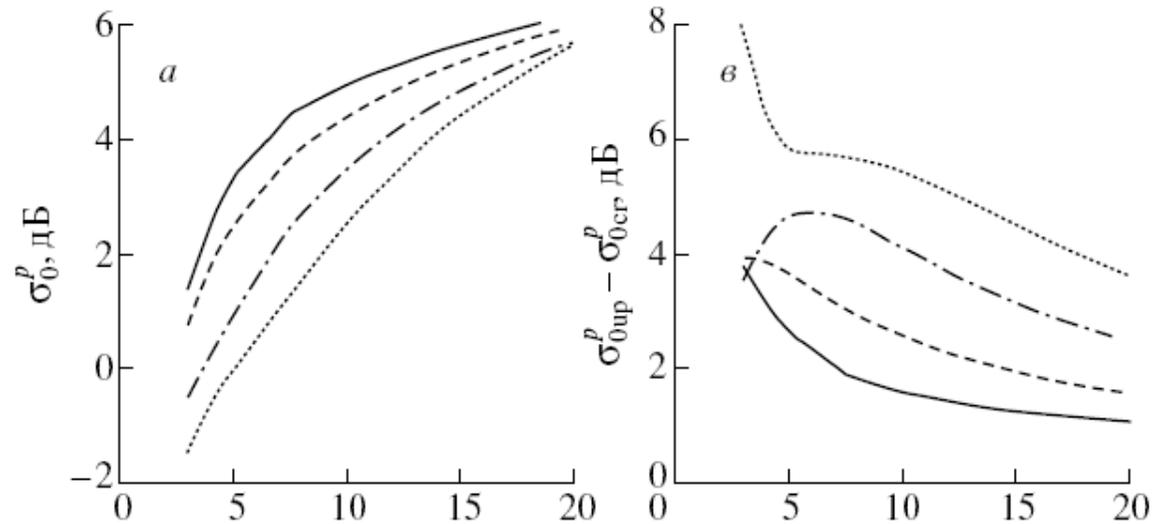
б) Зависимость доли поверхности моря покрытой зонами обрушений, от разгонов при различных скоростях ветра: 5 м/с (пунктир), 10 м/с (штрих-пунктир), 15 м/с (штрих) и 20 м/с (сплошная линия)

в) То же что на б), но для среднеквадратичного наклона

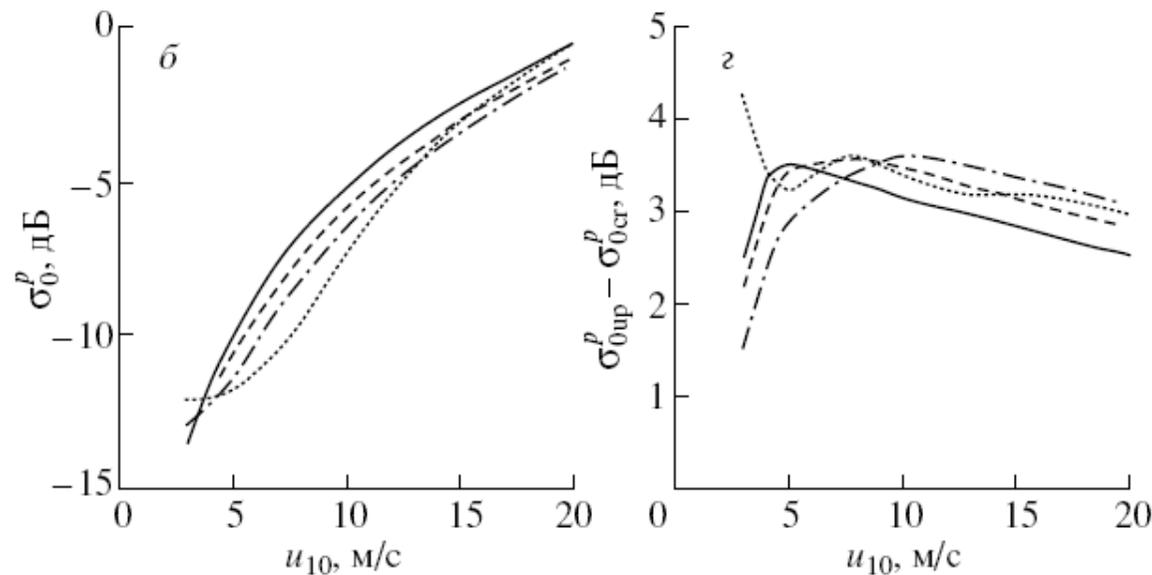
г) То же что на б), но для асимметрии наклонов

УЭПР поверхности

15 град.



25 град.



Зависимость характеристик УЭПР поверхности моря от скорости ветра в С-диапазоне на ВВ поляризации для разгонов волн 100м (пунктир), 1км (штрих-пунктир), 10км (штрих) и 100км (сплошная линия):

а) и б) – осредненная по азимуту УЭПР;

в) и г) – отношение значений УЭПР в наветренном и в перпендикулярном направлениях.

Коррекция СМОД5

$$\sigma_0^p = \sigma_{0\infty}^p F(\alpha)$$

$$F(\alpha) = [1 + I \cdot (A - 1)]$$

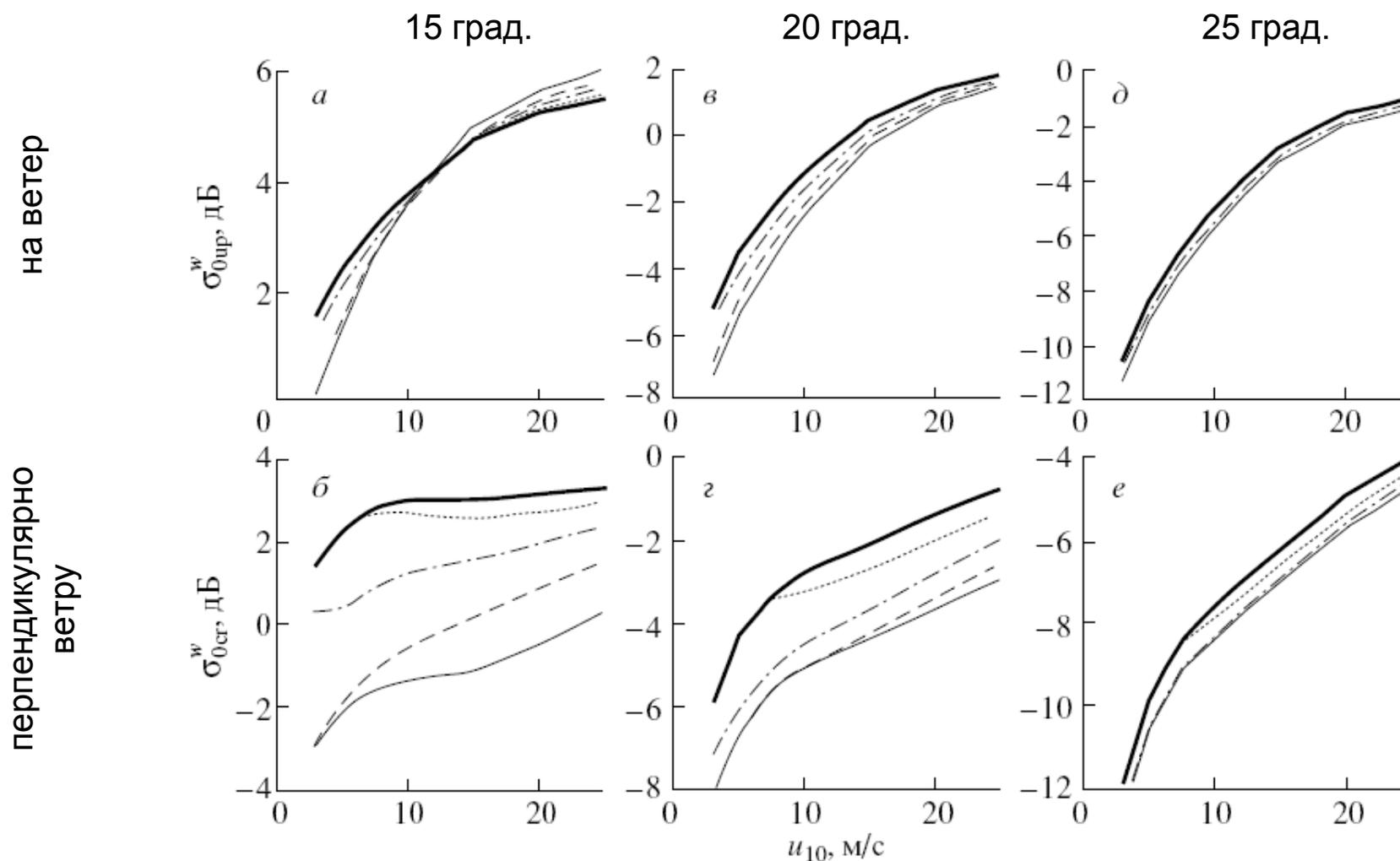
$$A(\alpha, \theta) = \frac{s_{up}^{\infty} s_{cr}^{\infty}}{s_{up} s_{cr}} \exp \left[-\frac{1}{2} \operatorname{tg}^2 \theta \cdot \left(s_{sp}^{-2} - s_{sp}^{\infty -2} \right) \right]$$

$$I(\theta) = \sec^4 \theta \exp(-\operatorname{tg}^2 \theta / 6 \cdot 10^{-2}) / [0.2 + \sec^4 \theta \exp(-\operatorname{tg}^2 \theta / 6 \cdot 10^{-2})]$$

$$s_{up}^2 = 4.8 \cdot 10^{-3} \left[(u_{10} / c_d)^{1/2} - 0.6 \ln(\alpha / 0.83) \right]$$

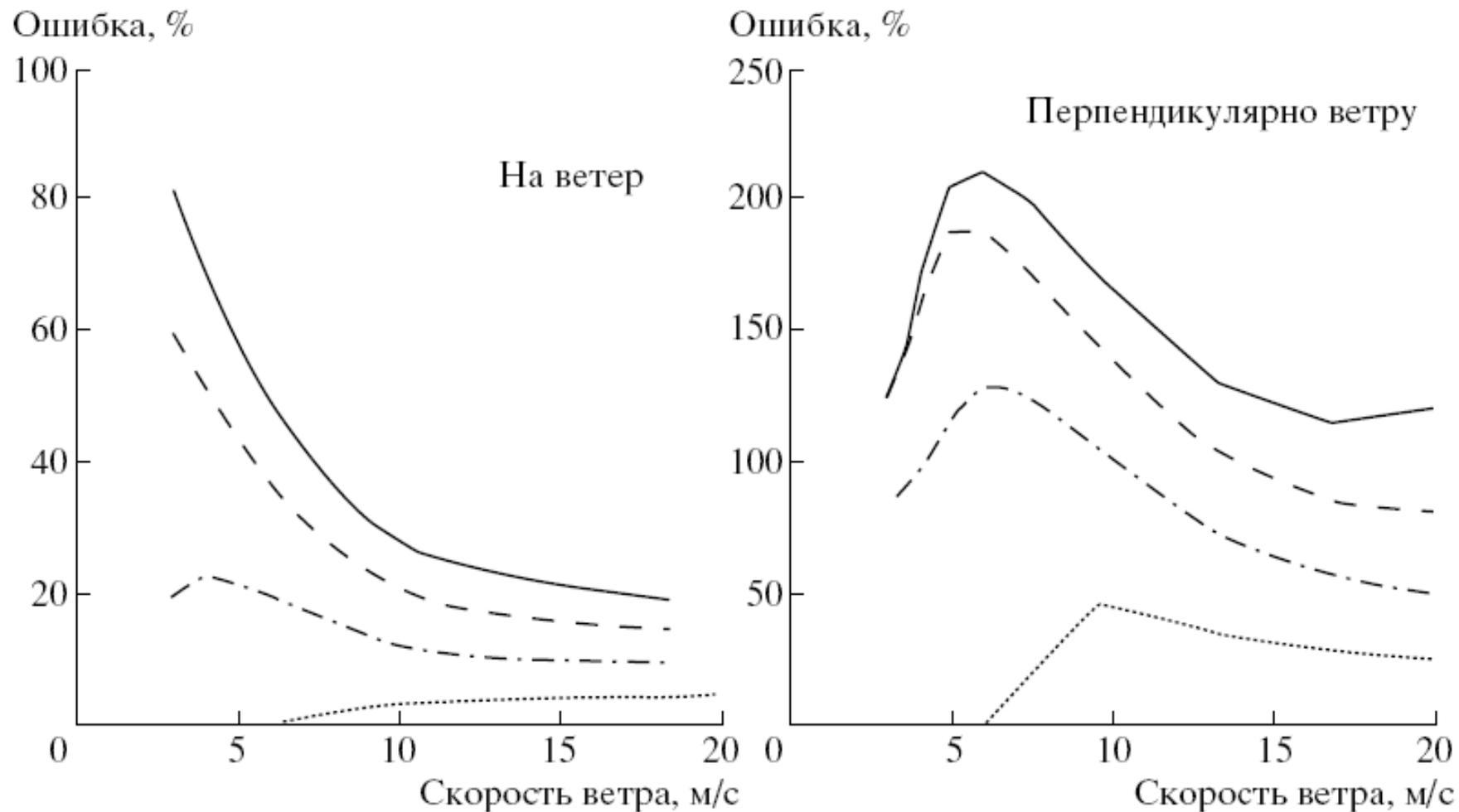
$$s_{cr}^2 = 3.9 \cdot 10^{-3} \left[(u_{10} / c_d)^{1/2} - 1.3 \ln(\alpha / 0.83) \right]$$

СМОД5 скорректированная



Ветровая зависимость УЭПР по скорректированной модели СМОД-5 для различных углов падения и разгонов волн: 1000км (жирная сплошная линия); 100км (пунктирная линия); 10км (штрих-пунктир); 1км (штриховая линия); 100м (тонкая сплошная линия)

Оценка ошибок



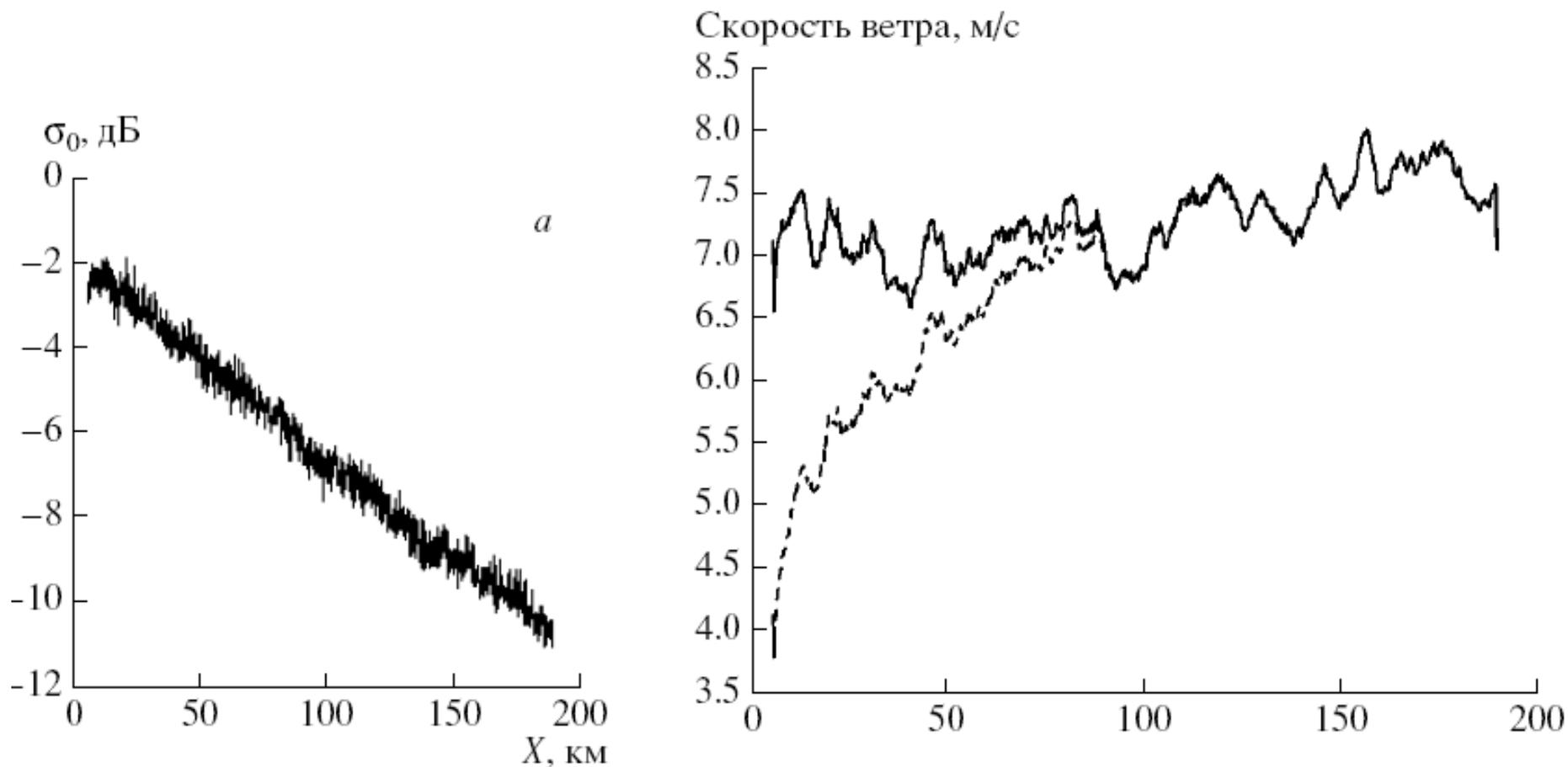
Оценка ошибки РЛ восстановления скорости ветра по модели СМОД-5 при угле падения 20 град. при различных разгонах волн от берега: 100м (сплошная), 1км (штрих), 10км (штрих-пунктир), 100км (пунктир).

Пример



Фрагмент (171 x 196 км) ENVISAT PCA изображения Азовского моря в районе Керченского пролива 4 июля 2005 г. Сплошная линия указывает положение сечения PCA изображения.

Результаты восстановления



а) Сечение РСА изображения (в единицах УЭПР) вдоль. Направление оси X соответствует направлению ветра.

б) Результат восстановления скорости ветра вдоль сечения РСА изображения по оригинальной модели СМОД-5 (штриховая линия) и по скорректированной модели, учитывающей ограниченные разгоны ветра (сплошная линия).

Заключение

УЭПР морской поверхности при углах падения меньше 30 град. чувствительно к стадии развития ветрового волнения (определяемого величиной разгона волн от берега)

Этот эффект объясняется зависимостью зеркальных отражений радиоволн от среднеквадратичного наклона морской поверхности, который в свою очередь, зависит от разгона ветровых волн и проявляется на дистанциях до нескольких десятков км.

Применение эмпирических моделей CMOD-4 или CMOD-5, разработанных для условий открытого океана, в случаях ограниченных разгонов волн может приводить к ошибкам восстановления ветра превышающим 100%

На основе модельных расчетов предложена коррекция эмпирических моделей, которая может существенно улучшить точность восстановления ветра в прибрежной зоне по РЛ изображениям