

# Учет эффекта скорости и направления ветра при классификации морских поверхностных пленок с использованием соосно-поляризованных спутниковых данных радаров синтезированной апертуры

Ивонин Д.В., Кожелупова Н.Г. Халиков З.А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия  
ivonin@ocean.ru

**ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД:** Метод использует соосно-поляризованные компоненты  $\sigma^V$  и  $\sigma^H$  и модель УЭПР (Kudryavtsev et al., 2003), чтобы определить береговое резонансное рассеяние  $\sigma_B$  и нерезонансное  $\sigma_n$  при использовании известного из теории поляризационного коэффициента  $P_{0B}$ .

Модель УЭПР (Kudryavtsev et al., 2003)

$$\sigma^V = \sigma_{0B} \cdot (1 + a_V \zeta_i^2) + q \cdot \sigma_{0n}$$

$$\sigma^H = P_{0B} \sigma_{0B} \cdot (1 + a_H \zeta_i^2) + q \cdot \sigma_{0n}$$

известный из теории поляризационный коэффициент

$$P_{0B} = \frac{|G_H|^2}{|G_V|^2}$$

Береговое рассеяние

$$\sigma_{0B} = 16\pi k_r^4 |G_V(\theta, \varepsilon)|^2 F(k_B)$$

Нерезонансное рассеяние от обрушений волн

$$\sigma_{0n}(\theta) = |R|^2 \frac{\sec^4 \theta}{s_n^2} \exp\left(-\frac{\tan^2 \theta}{s_n^2}\right) + \frac{\varepsilon_n}{s_n^2}$$

**ДААННЫЕ:** Данные Radarsat-2 и TerraSAR-X были получены для экспериментов NOFO в Северном море с контролируруемыми разливами сырой нефти и ее эмульсии (минеральные масла) и растительного масла.

**Пример обработки снимка PCA TerraSAR-X от 08.06.2011, содержащего изображение слика нефтяной эмульсии**

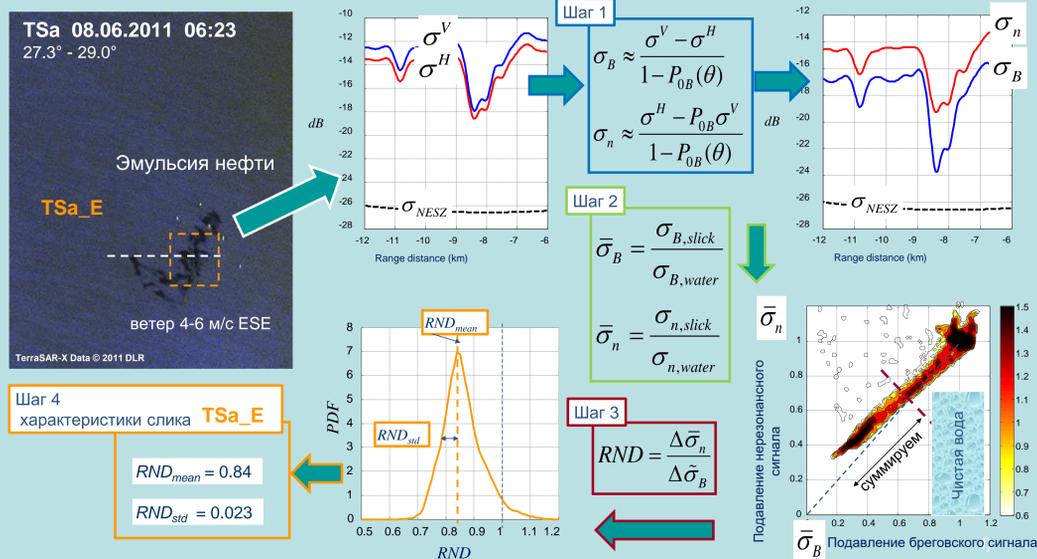


Рис. 1. Пример обработки снимка PCA TerraSAR-X от 08.06.2011, содержащего изображение слика нефтяной эмульсии. Номерами шагов показаны этапы поляризационной обработки (Ivonin et al., 2017).

**ЦЕЛЬ:** Повысить эффективность разделения различных типов сликов на поверхности моря по поляризационным данным PCA Radarsat-2 (С-диапазон) и TerraSAR-X (X-диапазон) при использовании поляризационного параметра RND (Resonant to Non-resonant Damping ratio, Ivonin et al., 2016) в условиях варьируемых ветровых условиях

**ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ:** На основе поляризационного параметра RND (Ivonin et al., 2016) была предложена поляризационная диаграмма для разделения пленок минерального масла (сырая нефть и ее эмульсии) и пленок растительного масла по данным PCA Radarsat-2 (С-диапазон) и TerraSAR-X (X-диапазон) (Рис. 1), на основании которой было предложено определение пленок минерального масла «вслепую» с надежностью определения, показанной на Рис. 2. Разброс точек на диаграмме частично определяется вариациями ветра в диапазоне 2-8 м/с.

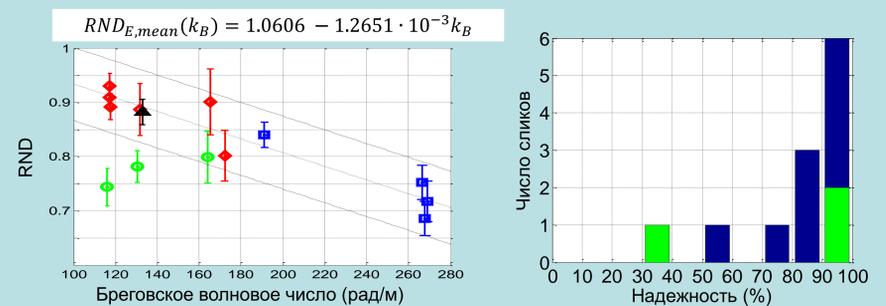


Рис. 3. (а) Исходная поляризационная диаграмма RND vs. береговое волновое число  $k_B = 2k_r \sin(\theta)$ ; (б) исходное число идентифицированных сликов vs. надежность идентификации.

Таблица. Характеристики исходных данных PCA Radarsat-2 и TerraSAR-X

Снимок	Дата	Время (UTC)	$\theta$	Скорость ветра	Направление ветра относительно радара	Слики
RSa	08.06.2011	05:59	46.8°	6.3 м/с	225°	эмульсия, растительное масло
TSa	08.06.2011	06:23	28.2°	6.3 м/с	220°	эмульсия
RSb	08.06.2011	17:27	35.7°	4.5 м/с	15°	сырая нефть, эмульсия, растительное масло
RSc	15.06.2012	17:48	49.4°	8.0 м/с	325°	эмульсия
TSc	15.06.2012	17:28	41.5°	8.0 м/с	325°	эмульсия
RSd	15.06.2012	06:20	31.2°	4.3 м/с	89°	эмульсия, растительное масло

## ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА

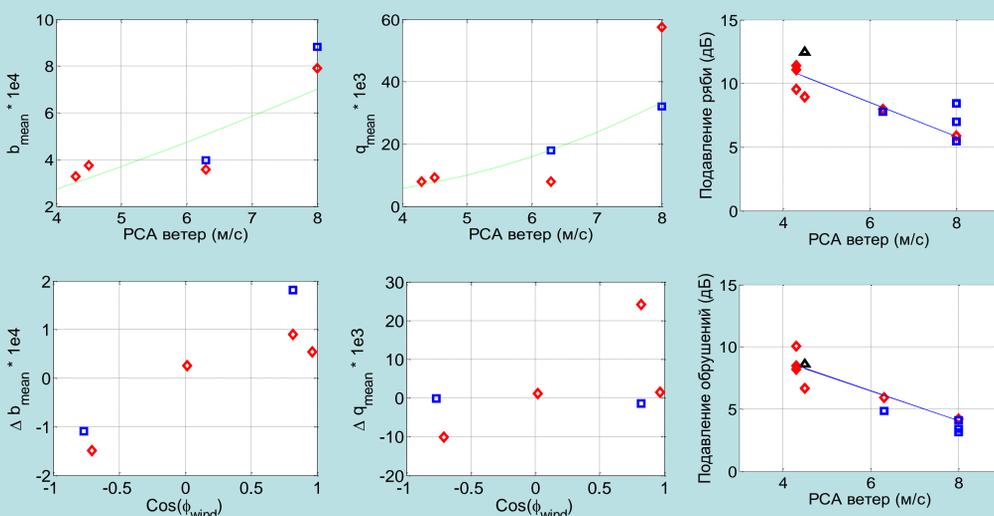


Рис. 2. Зависимость от скорости ветра (а) спектральной плотности ряби  $B(k_B) = k_B^{-4} \cdot F(k_B)$ ; (б) количества обрушений  $q$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЕТРА:

- 1) Данные С-диапазона (Radarsat-2) и X-диапазона (TerraSAR-X), пересчитанные основе модели УЭПР (Kudryavtsev et al., 2003) в уровни спектральной плотности береговой ряби и количества обрушений волн, показывают хорошую корреляцию со скоростью и направлением ветра
- 2) Однако подавление спектральной плотности ряби показывает значительный разброс (рис. 2в), что связано с различной толщиной пленок. Подавление количества обрушений волн имеет меньший разброс (рис. 3б).

## ВЫВОДЫ:

- 1) Поляризационный параметр RND в первом приближении линейно зависит от скорости и направления ветра (рис. 4).
- 2) Скорректированная на скорость и направления ветра поляризационная диаграмма существенно меньше зависит от берегового волнового числа. Тренд уменьшился в 2 раза (рис. 5а).
- 3) Надежность идентификации типа слика повысилась на 10%.

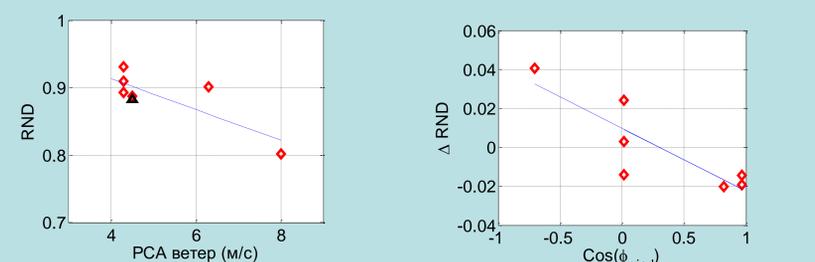


Рис. 4. Зависимость параметра RND (а) от скорости ветра; (б) от направления ветра.

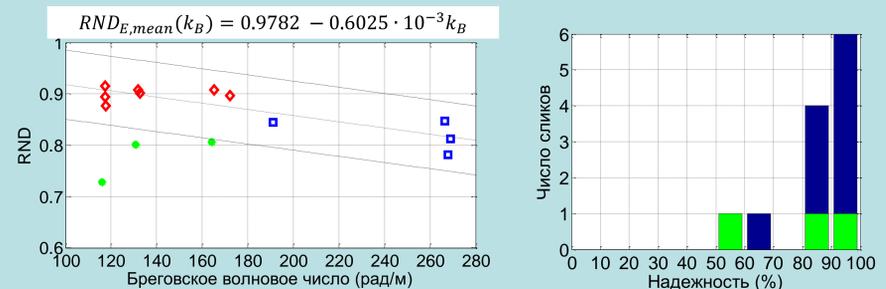


Рис. 5. (а) Скорректированная поляризационная диаграмма RND vs. береговое волновое число; (б) улучшенное число идентифицированных сликов vs. надежность идентификации.

## Литература:

1. Kudryavtsev V. N., Hauser D., Caudal G., and B. Chapron, "A semiempirical model of the normalized radar cross-section of the sea surface: 1. Background model", Journal of Geophysical Research: Oceans, vol. 108, no. C3, FET-3, 2003.
2. Ivonin D. V. et al. Interpreting sea surface slicks on the basis of the normalized radar cross-section model using RADARSAT-2 copolarization dual-channel SAR images //Geophysical Research Letters. – 2016. – Т. 43. – №. 6. – С. 2748-2757.

**ФИНАНСИРОВАНИЕ.** Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ № 18-55-20010.