

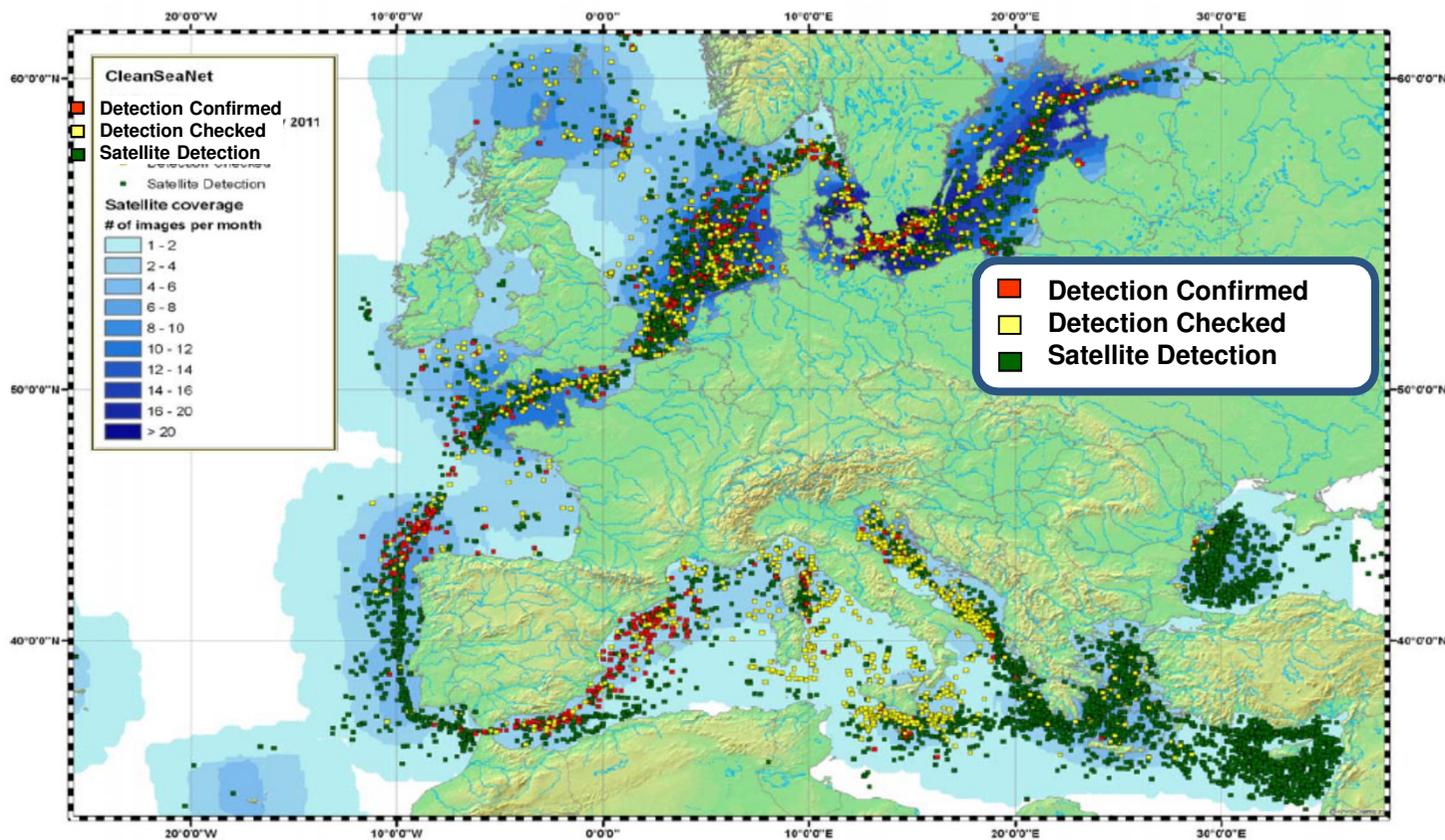
16-ая конференция
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА
12-16 ноября 2018 , Москва

Анализ кросс-поляризационного сигнала PCA Radarsat-2 в районах разливов нефти

Дмитрий Ивонин, Андрей Иванов
Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, Москва

Результаты детектирования нефтяных разливов организацией **CleanSeaNet** (за 16 апреля 2007 – 31 января 2011)

использовались данные Envisat (имеют только одну соосную поляризацию HH или VV)



8,866 detections – 2,828 checked – 745 confirmed (80% mineral oil)



Цель

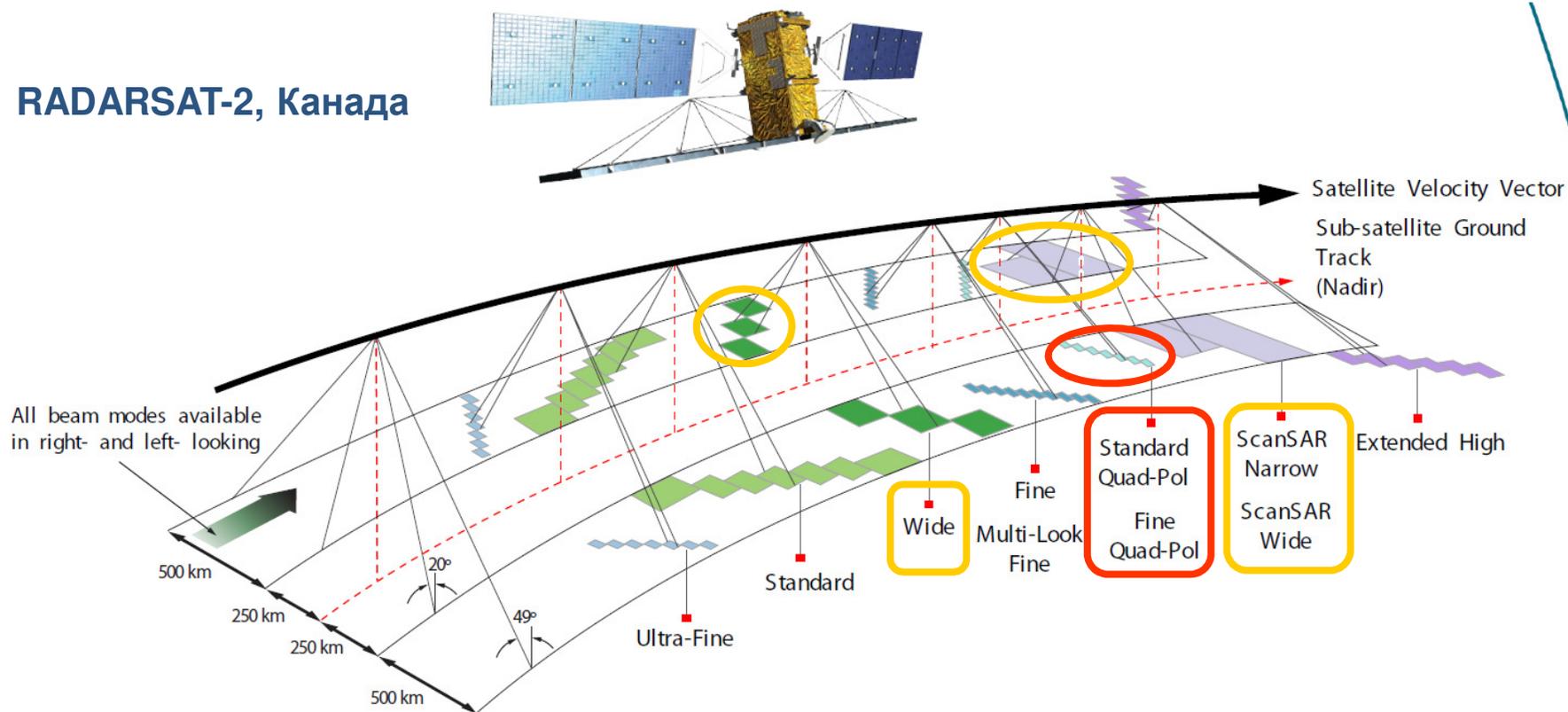
- определение возможности использования перекрестной поляризации (VH/HV) для идентификации типа слика

Содержание

- Предыстория использования ко-поляризационного сигнала VV & HH
- Анализ кросс-поляризационного сигнала VH & HV
- на примере РЛИ Oil Spill Exercise 2011-2012

Режимы съемки спутниковых РСА

RADARSAT-2, Канада

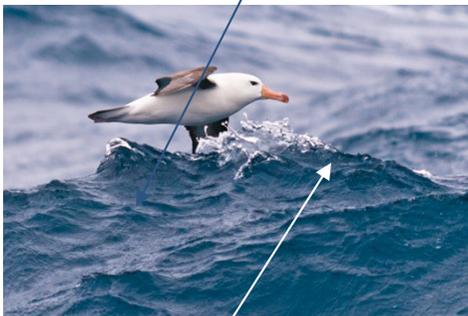


Характеристики РСА:	
частота	С-диапазон (5,4 ГГц)
ширина полос пропускания	11.6, 17.3, 30, 50, 100 МГц
поляризация	ГГ, ГВ, ВГ, ВВ
размер антенны РСА	15 x 1,5 м

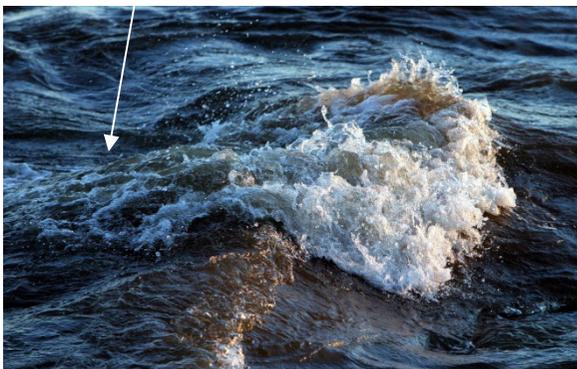
Орбита:	
высота полета	798 км
период	100,7 мин
повторяемость	24 дней
кол-во орбит в день	14

Полная модель УЭПР (VV & HH)

Бреговская (резонансная) рябь ~3 см



сильно шероховатая поверхность «микрообрушения»



фронт обрушений

сильно шероховатая поверхность, «микрообрушения»

Полная УЭПР *)

$$\sigma^P = \sigma_{br}^P + \sigma_{wb} + \sigma_{sp}$$

Зеркальные (Киргоф) отражения пренебрежимы @ > 30°

Резонансный (бреговский) сигнал (зависит от ветровой ряби)

$$\sigma_{br}^P = 16\pi |G_p(\theta)|^2 B(\varphi, k_b) [1 + a_p \zeta_r^2 + b_p \zeta_c^2]$$

$$k_b = 2k_r \sin \theta \quad B(\varphi, k) = k^4 \cdot F_r(\varphi, k) \leftarrow \text{спектр возвышений}$$

Нерезонансный сигнал (зависит от количества обрушений)

$$\sigma_{wb} = q \cdot \sigma_{0wb}(\theta)$$

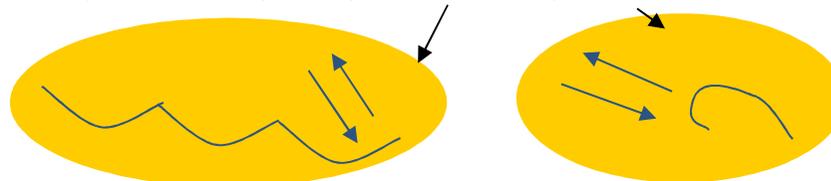
$$q = c_q \int_{\varphi} \int_{k < k_{nb}} \Lambda(k, \varphi_1) d\varphi_1 dk \sim u_*^{2+m_g}$$

$$\sigma_{0wb}(\theta) = \left(\sec^4 \theta / s_{wb}^2 \right) \exp\left(-\tan^2 \theta / s_{wb}^2 \right) + \varepsilon_{wb} / s_{wb}^2$$

$$c_q = 10$$

$$s_{wb}^2 = 0.19$$

$$\varepsilon_{wb} = 0.05$$



*) Kudryavtsev et al. (2003)

A semiempirical model of the normalized radar cross-section of the sea surface: 1. Background model, J. Geophys. Res., 108(C3)

Вариант калибровки

УЭПР при $> 30^\circ$

$$\sigma^V = \sigma_B + \sigma_{wb}$$

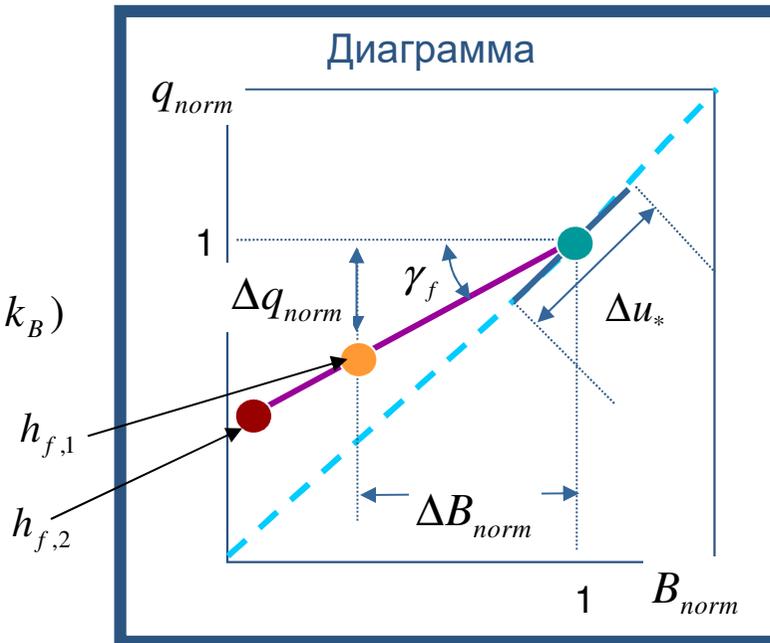
$$\sigma^H = P_B(\theta) \cdot \sigma_B + \sigma_{wb}$$

Бреговская часть

$$\begin{aligned} \sigma^V - \sigma^H &= (1 - P_B) \cdot \sigma_B = \\ &= G_B(\theta) \cdot B(k_B) \end{aligned}$$

чувствительна к спектру ряби

$$\frac{B_f(k_B)}{B_0(k_B)} \equiv B_{norm}(E_f, h_f, u_*; k_B)$$



Нерезонансная часть

$$\begin{aligned} \sigma^H - P_B \sigma^V &= (1 - P_B) \cdot \sigma_{wb} = \\ &= G_{wb}(\theta) \cdot q \end{aligned}$$

чувствительна к количеству обрушений

$$\frac{q_f}{q_0} \equiv q_{norm}(E_f, h_f, u_*)$$

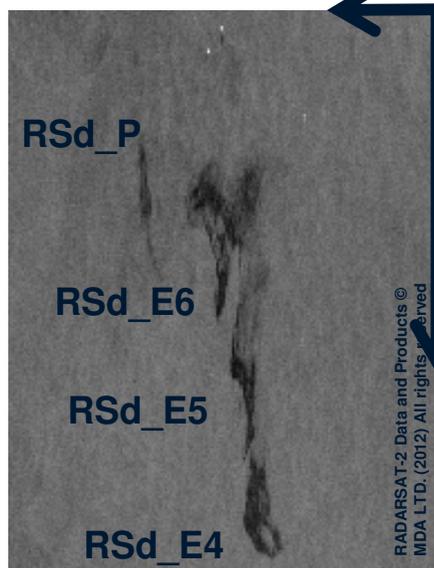
Исключили влияние: а) толщины пленки, б) угла зондирования (ослабили влияние)

$$\tan(\gamma_f) = \frac{\Delta q_{norm}}{\Delta B_{norm}} = \frac{B_0(u_*; k_B)}{q_0(u_*)} \cdot \frac{\partial q_f}{\partial h_f}(u_*, E_f) \bigg/ \frac{\partial B_f}{\partial h_f}(u_*, E_f; k_B)$$

Снимки Oil Spill Exercise 2011-2012

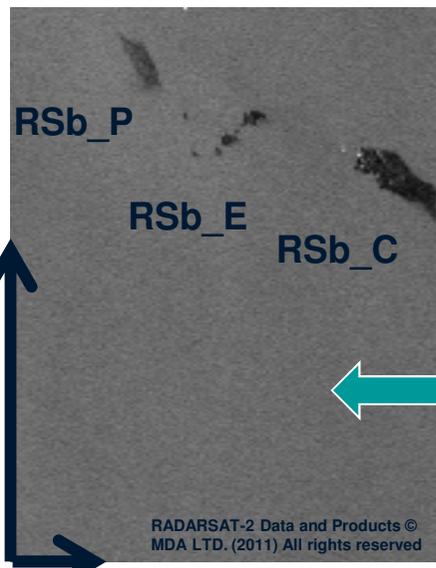
разливы сырой нефти, нефтяной эмульсии и растительного масла

RSd 08.06.2012 06:20



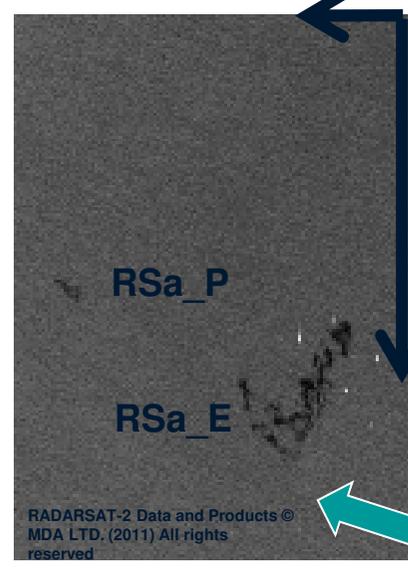
ветер 4 м/с

RSb 08.06.2011 17:27



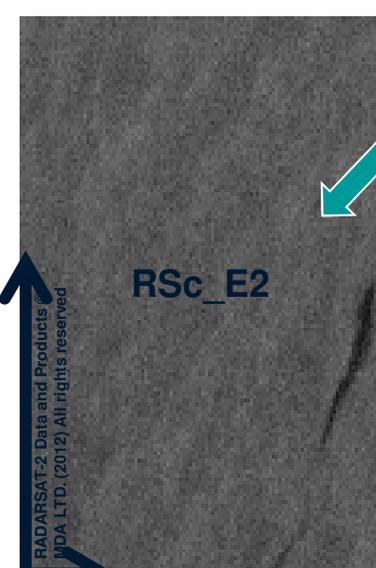
ветер 2 м/с
волна 1 м

RSa 08.06.2011 05:59



ветер 2 м/с
волна 1 м

RSc 15.06.2012 17:48



ветер 3 м/с
волна 1.5-2 м

Исходные снимки TerraSAR-X (16 шт.)

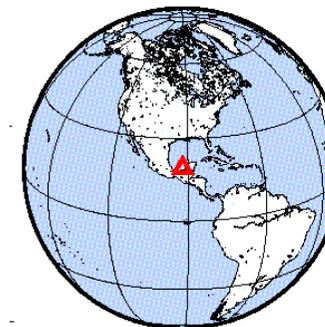
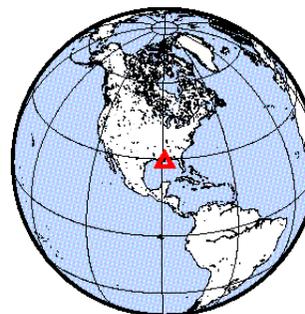
Table 1. TSX dual-pol. images for the Gulf of Mexico.

Date Time, UTC	6.08.2011	28.05.2012 11:59:43	22.07.2012 11:59:45	13.08.2012 11:59:46
Region, Central latitude x longitude	Gulf of Mexico 27.12 x -92.13	Gulf of Mexico 29.02 x -88.94	Gulf of Mexico 29.02 x -88.94	Gulf of Mexico 29.02 x -88.94
Quick-look				
Central incidence angle	32.67	33.76	33.76	33.76
Wind Угол к дальности	5 m/s EEE 0°	3-4 m/s NW 45°	3-4 m/s SSE 60°	5-6 m/s SWW 30°

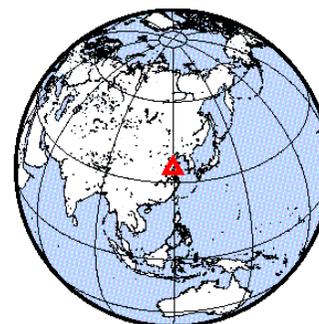
Table 1. TSX dual-pol. images.

Date Time, UTC		2011-07-25 11:59:45	6.11.2013 2:45:06	13.11.2013 14:31:39
Region, Central latitude x longitude	Yellow Sea	Gulf of Mexico 29.02 x -88.94	Caspean	Caspean
Quick-look				
Central incidence angle	31.6	33.76	37.82	
Wind Угол к дальности				

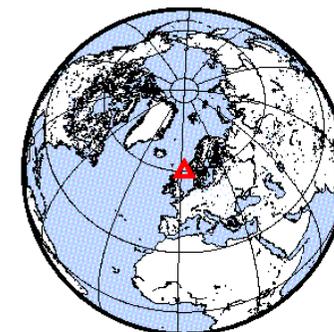
Мексиканский залив



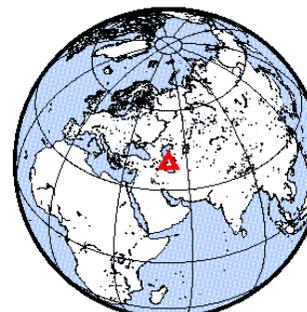
Желтое море



Северное море



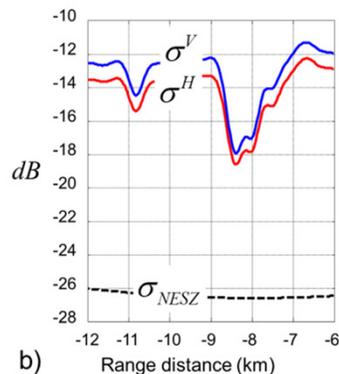
Каспийское море



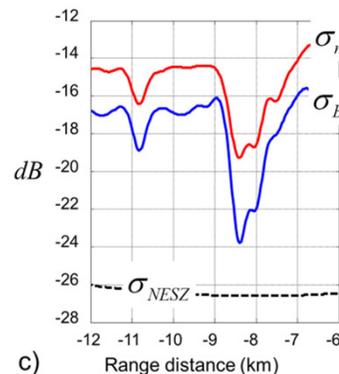
Результаты обработки соосно-поляризованных каналов (VV и HH) одновременных снимков TerraSAR-X и Radarsat-2



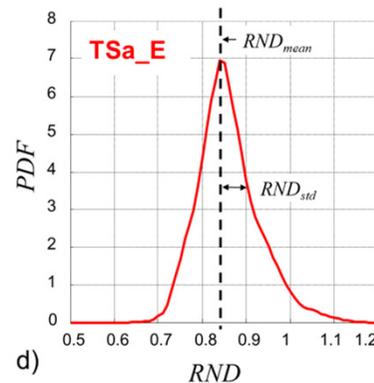
a)



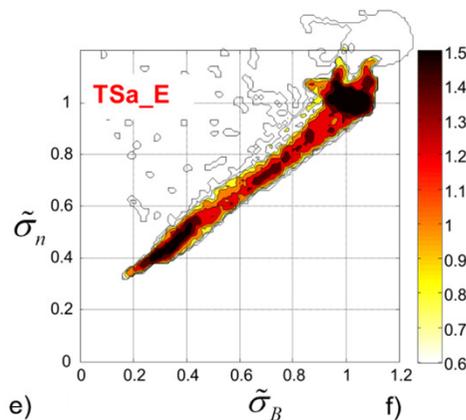
b)



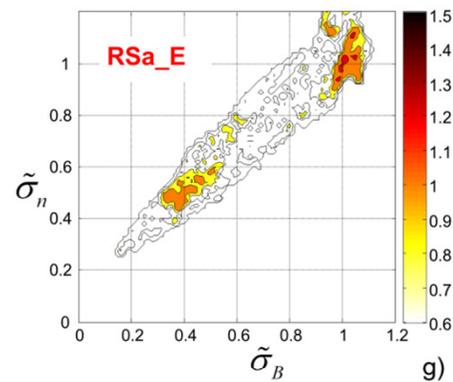
c)



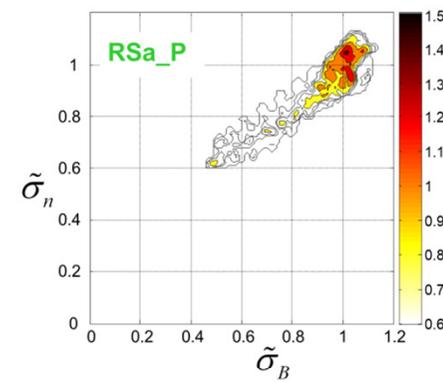
d)



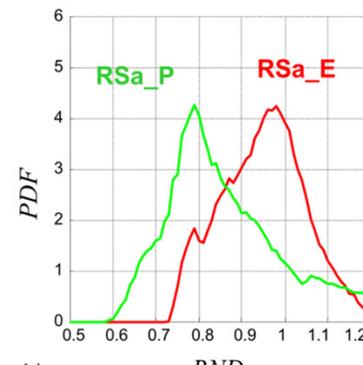
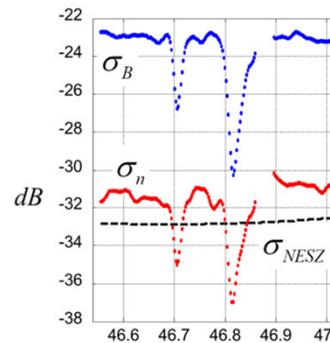
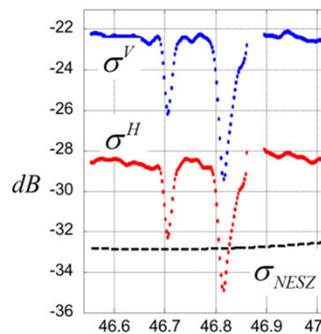
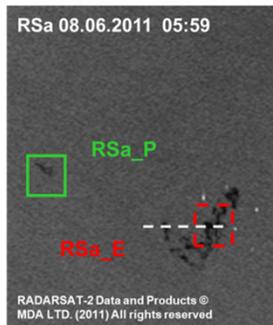
e)



f)

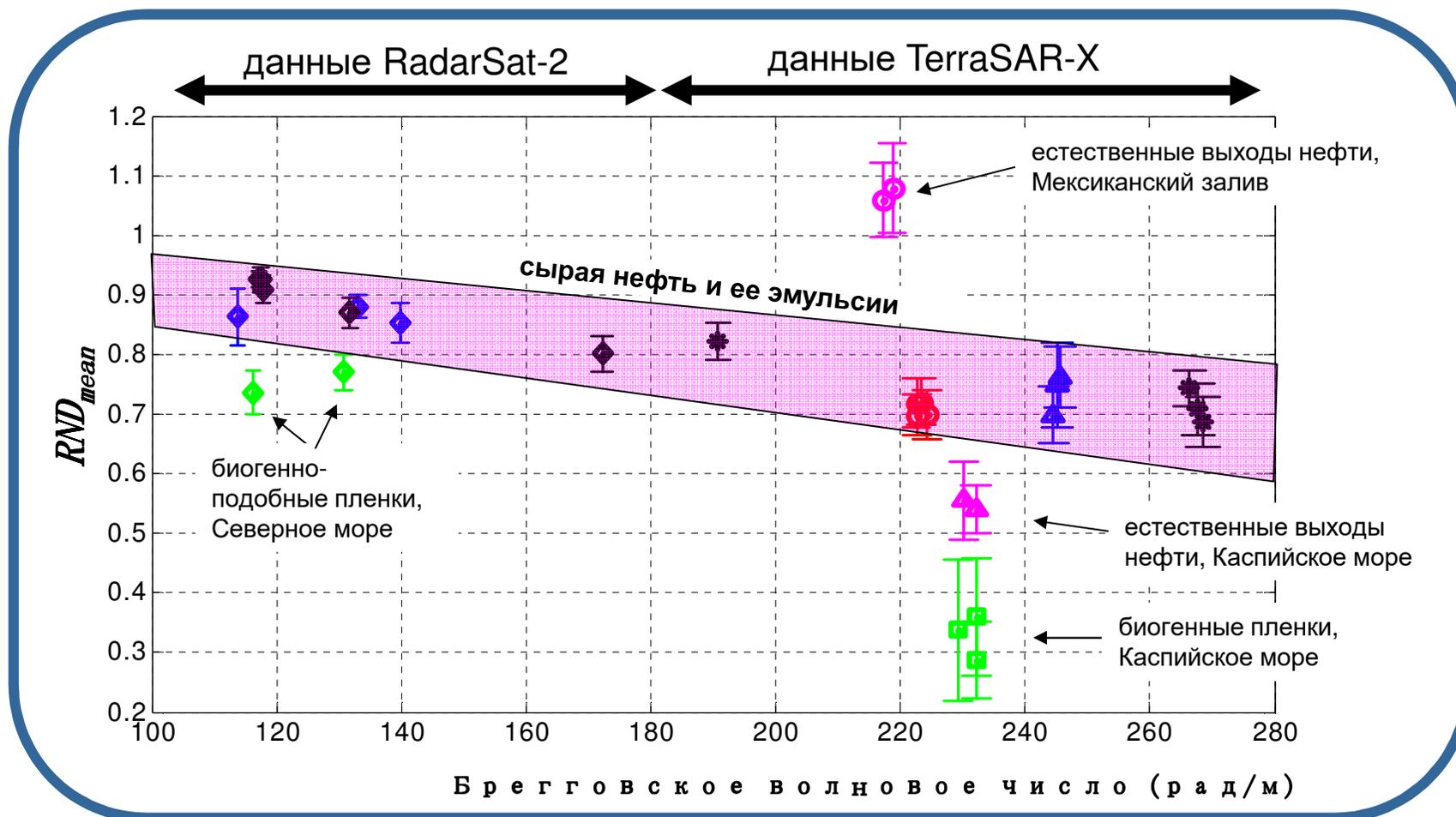


g)



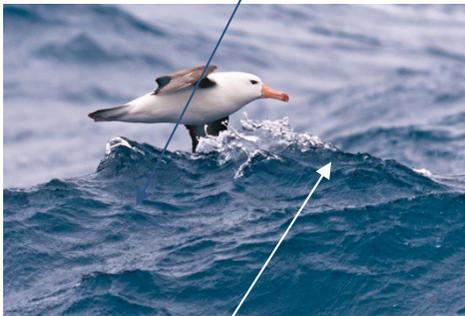
Итоговые результаты обработки и анализа пятен на РЛИ TerraSAR-X и RadarSAT-2

- **пленки нефти и ее эмульсий** уверенно отделяются от **биогенных, биогенно-подобных** (эфир растительного масла) пленок и **естественных выходов** нефти
- показана универсальность методики для С- и X-диапазонов и углов зондирования 29°-47°
- **надежность > 90%**



Перекрестная поляризация (VH & HV)

Бреговская (резонансная) рябь ~3 см



сильно шероховатая поверхность «микрообрушения»



фронт обрушений

сильно шероховатая поверхность, «микрообрушения»



УЭПР (Valenzuela, 1978)

Резонансный сигнал (зависит от ветровой ряби)

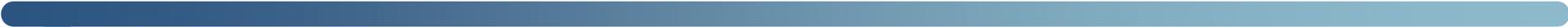
$$\sigma_{cross} = \zeta_c^2 \cdot 16\pi |G_{cross}(\theta)|^2 B(\varphi, k_b) [1 + c_p \zeta_r^2 + d_p \zeta_c^2]$$

Поперечные уклоны волн

$$\sigma^V = \sigma_B + q \cdot \sigma_{wb}$$

$$\sigma^H = P_B(\theta) \cdot \sigma_B + q \cdot \sigma_{wb}$$

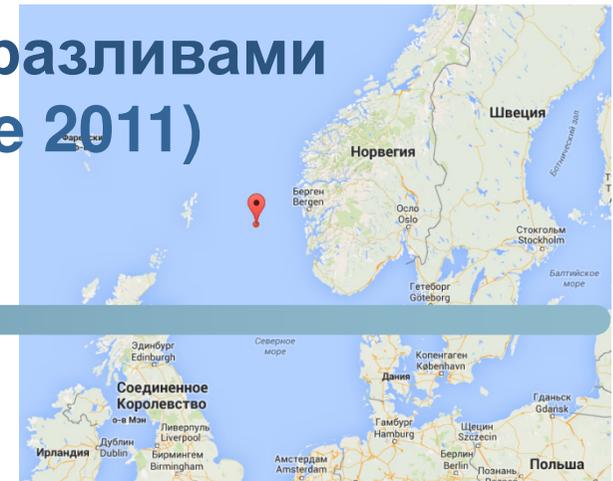
$$\sigma^{cross} = \zeta_c^2 \cdot P_{cross}(\theta) \cdot \sigma_B + q \cdot \sigma_{\gamma}$$

- 
- 
- **Эксперименты с контролируруемыми разливами нефти и раст. масла (Oil Spill Exercise, Северное море)**

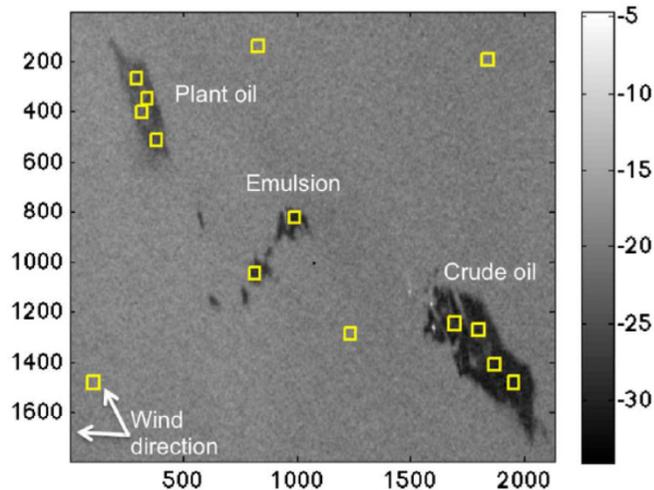
Skrunes et al. (2014, 2015)

Эксперименты с контролируруемыми разливами нефти и раст. масла (Oil Spill Exercise 2011)

Проводится ежегодно NOFO
(Norwegian Clean Seas Association for Operating Companies)



Radarsat-2 снимок 8 июня 2011



Фотография с самолета (crude oil slick)



The photograph is courtesy of Kystverket/
NOFO/Sundt Air (Skrunes et al., 2014)

в 2011 году (59° 59' N, 2° 27' E)

разливы:

- 1) (crude oil) сырой нефти
- 2) (emulsion) водяной эмульсии на основе нефти

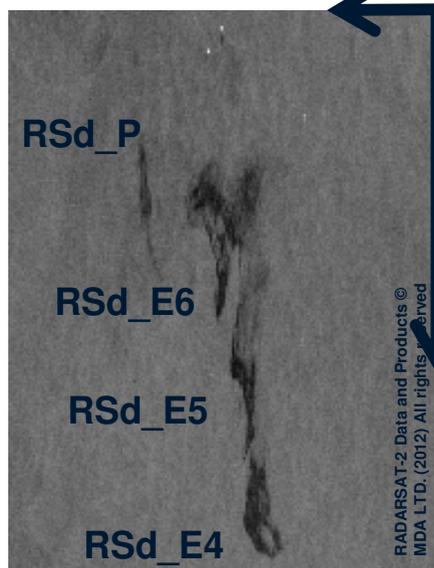
3) (plant oil) смесь жирных эфиров для производства буровых агентов Radiagreen EBO

(Radiagreen EBO plant oil, 2-ethylhexyl oleate, a monoalkyl ester of an oleic acid produced from vegetable oils. It is a readily biodegradable and non-toxic multipurpose lubricant for water based drilling fluids)

Снимки Oil Spill Exercise 2011-2012

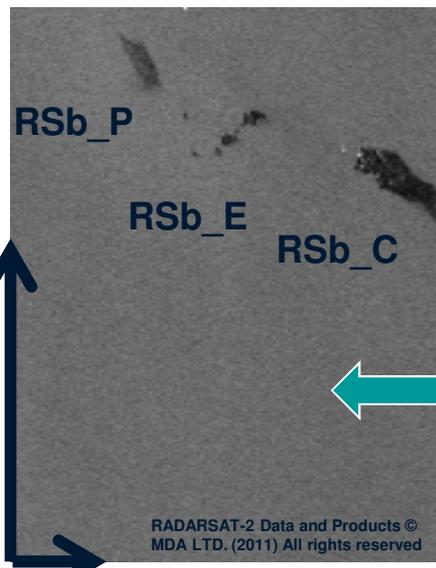
разливы сырой нефти, нефтяной эмульсии и растительного масла

RSd 08.06.2012 06:20



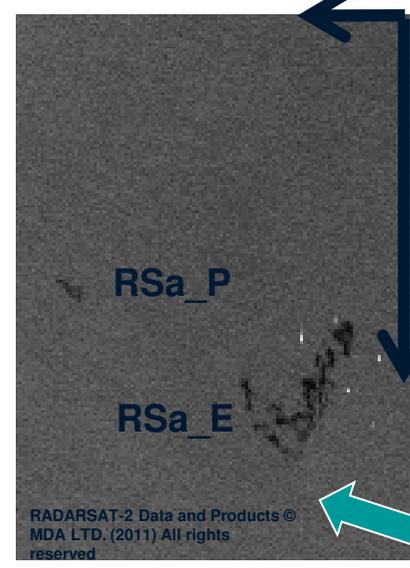
ветер 4 м/с

RSb 08.06.2011 17:27



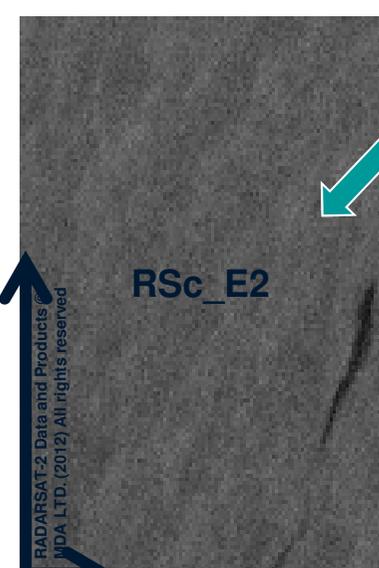
ветер 2 м/с
волна 1 м

RSa 08.06.2011 05:59



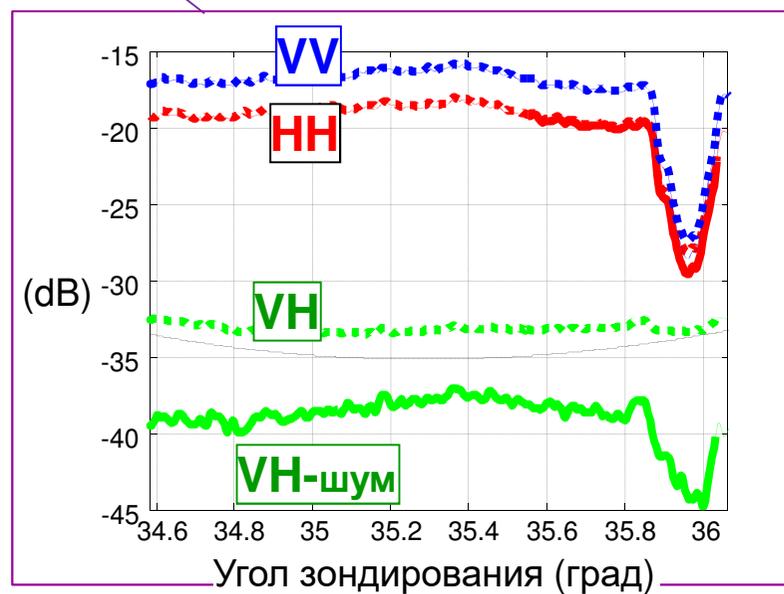
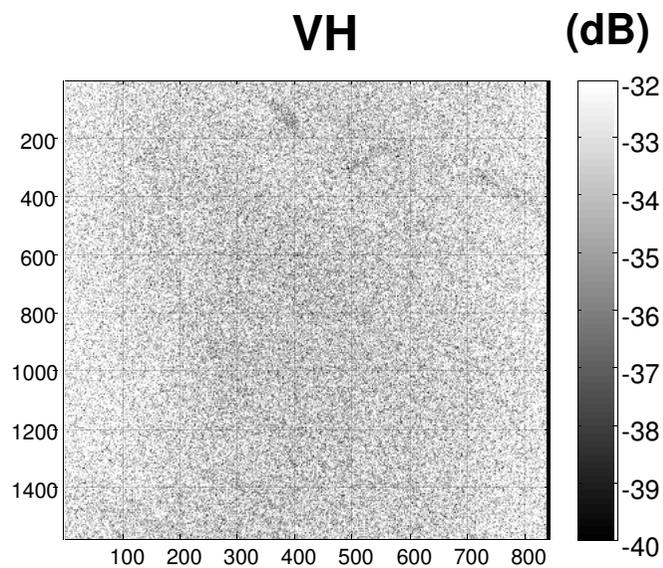
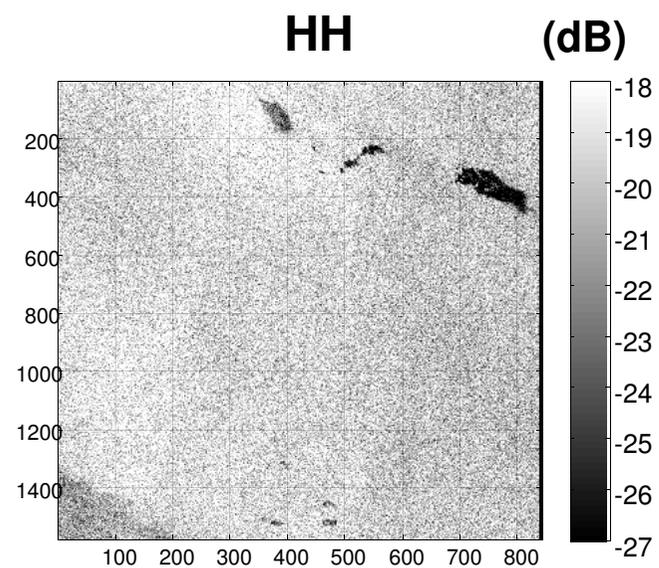
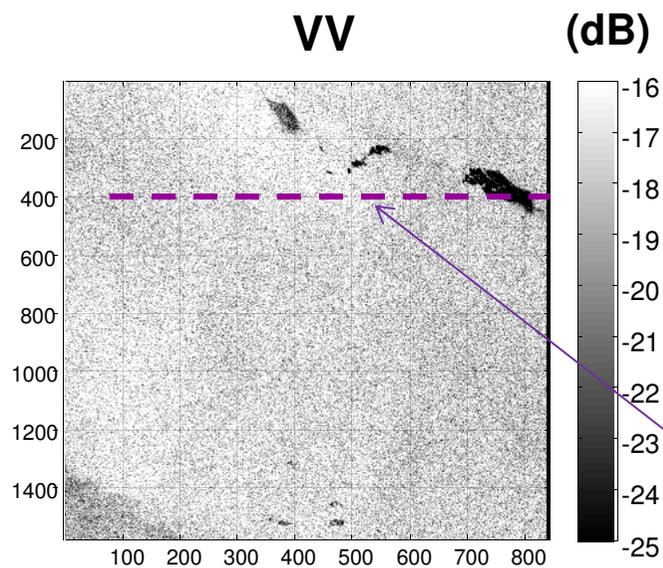
ветер 2 м/с
волна 1 м

RSc 15.06.2012 17:48



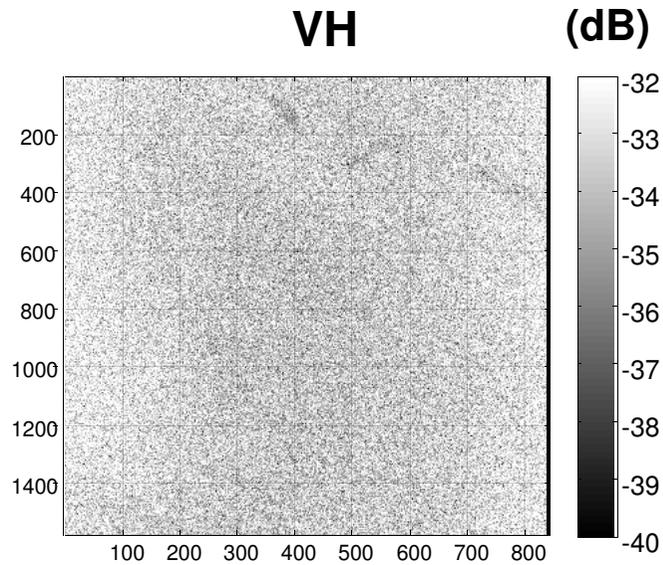
ветер 3 м/с
волна 1.5-2 м

Radarsat-2 08.06.2011 17:27 (RSb)

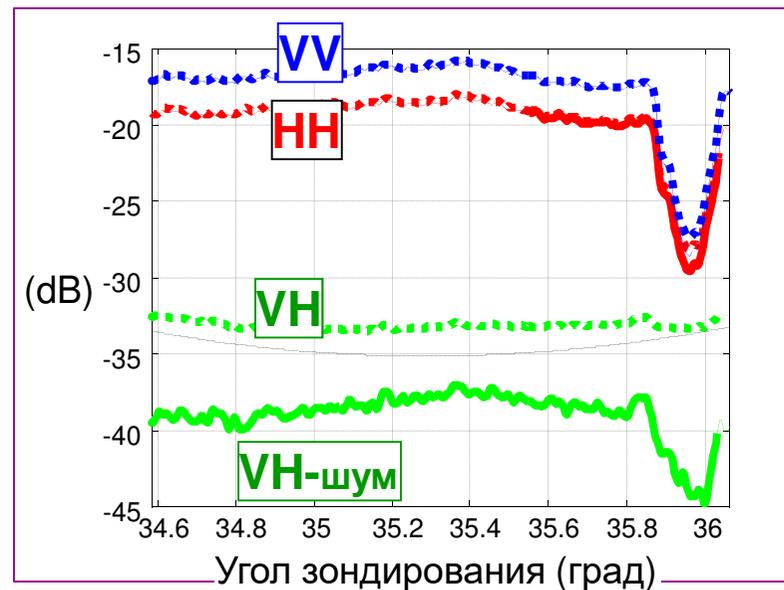
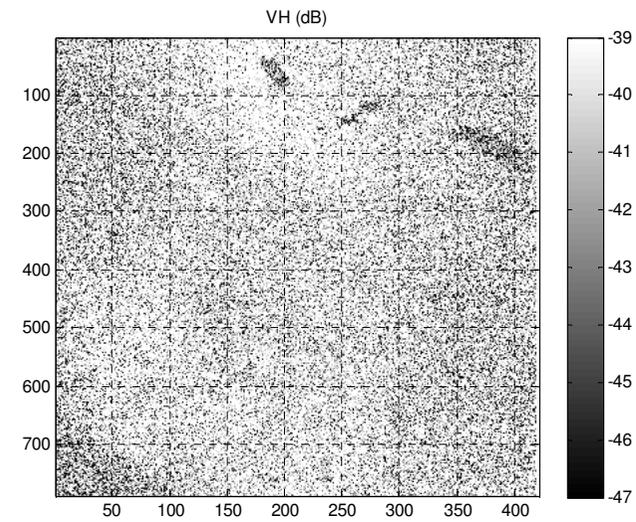


Эффект вычитания шума (RSb)

до вычитания шума



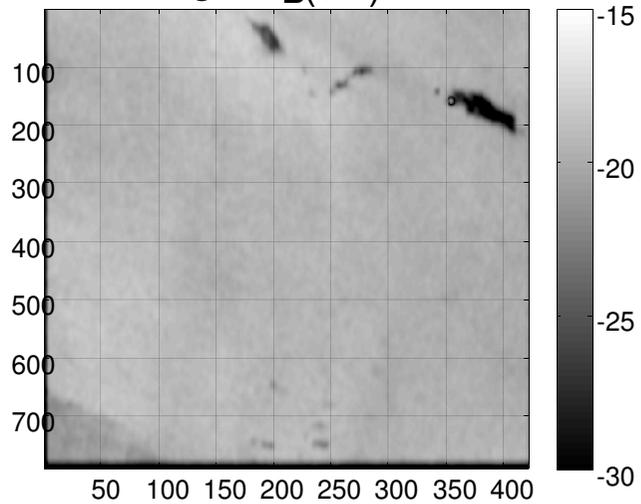
после вычитания шума ~35 dB



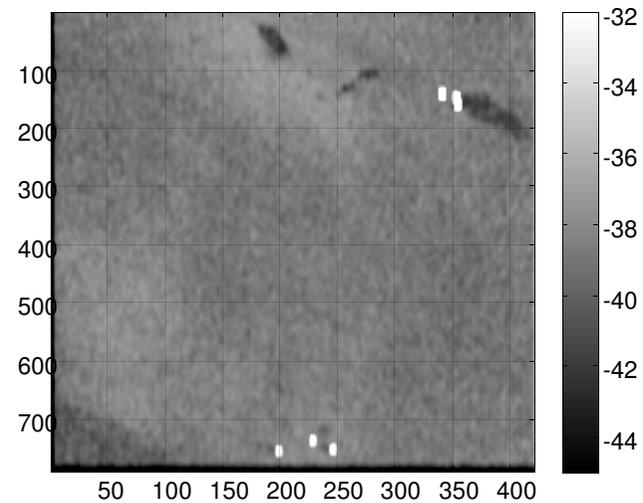
Radarsat-2 08.06.2011 17:27 (RSb)

RSb 08.06.2011 17:27

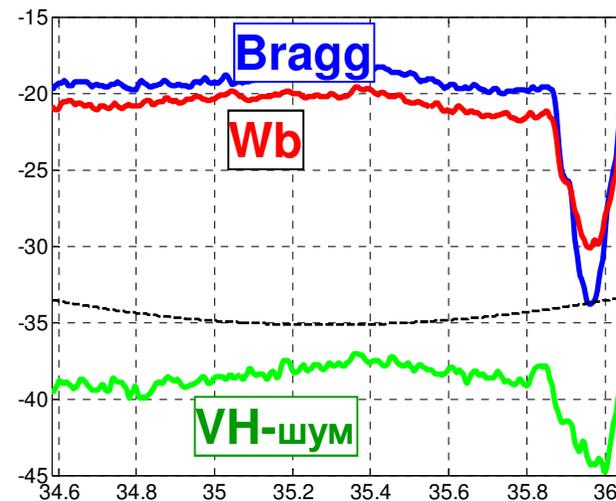
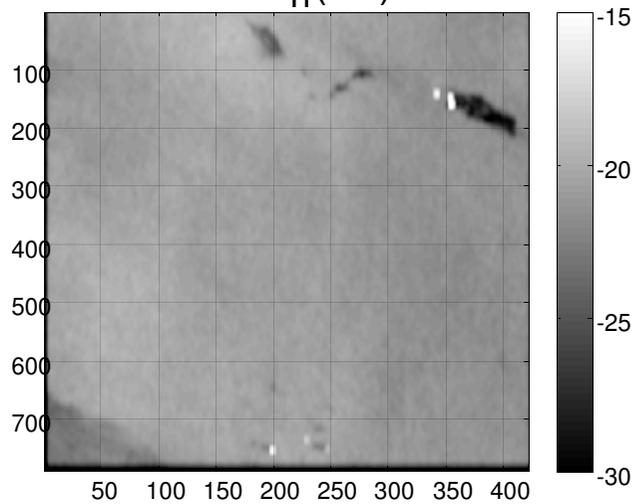
σ_B (dB)



VH (dB)

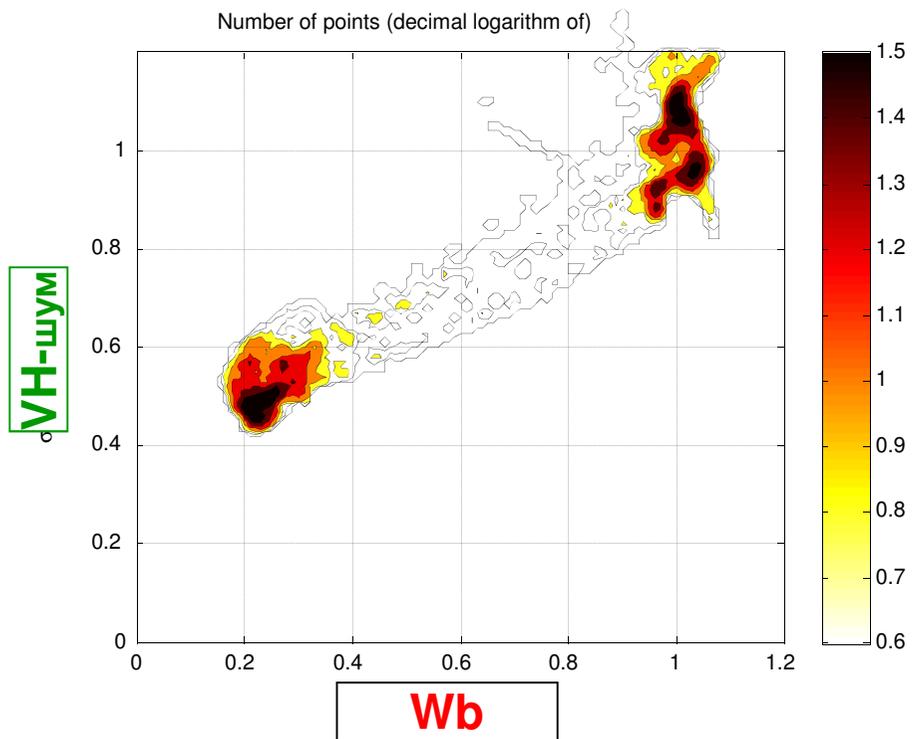


σ_n (dB)

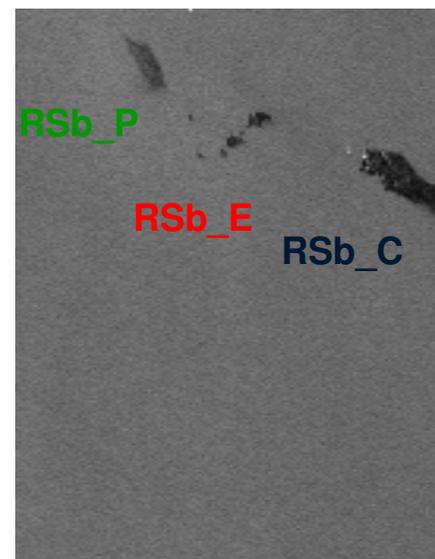


Разделение сликов с помощью VH (RSb)

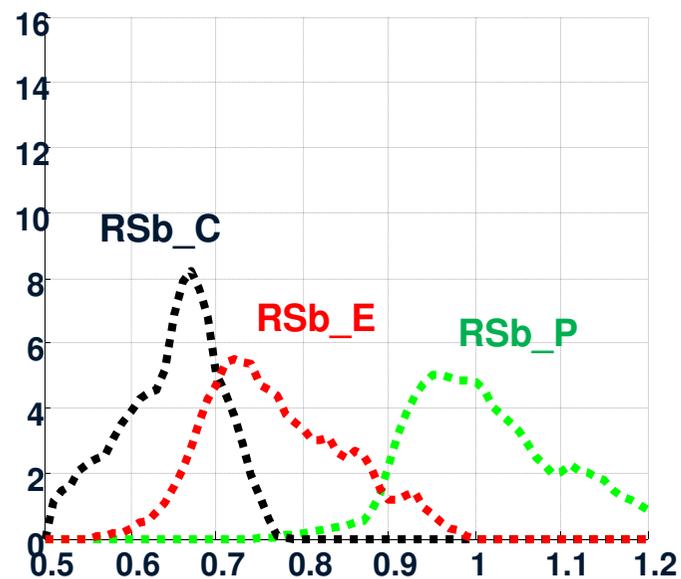
Подавление сигнала VH в слике эмульсии (RSb)



RSb 08.06.2011 17:27

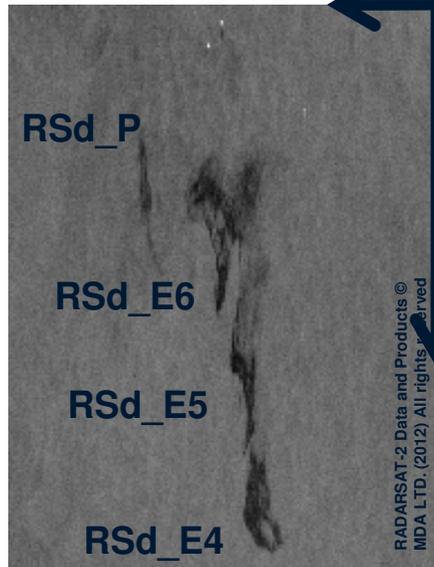


RSb 08.06.2011 17:27

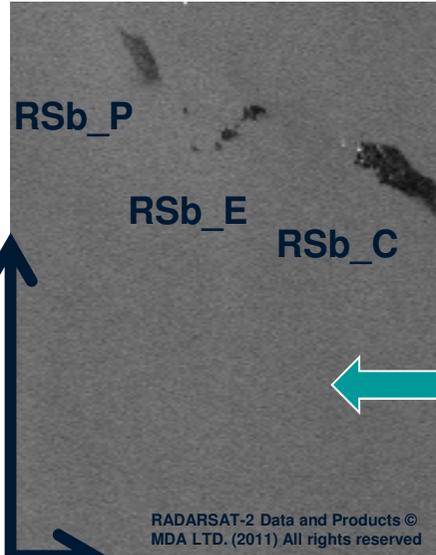


Снимки Oil Spill Exercise 2011-2012

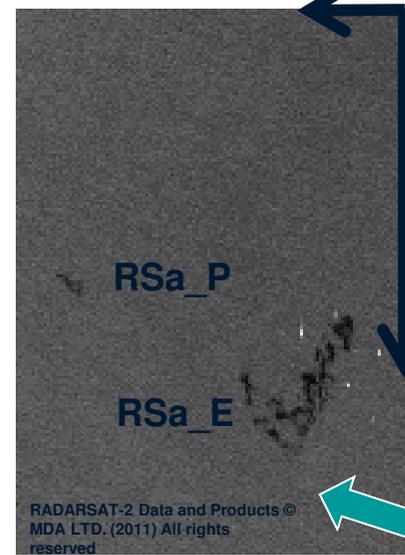
RSd 08.06.2012 06:20



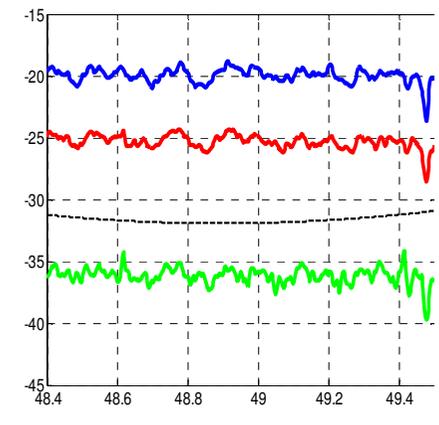
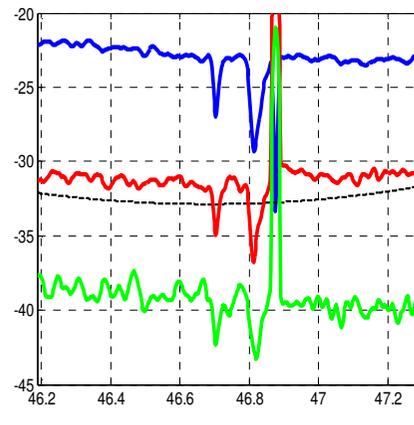
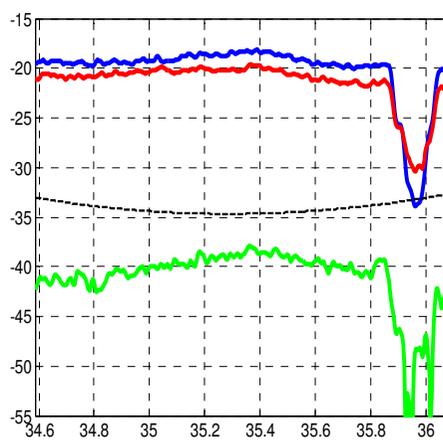
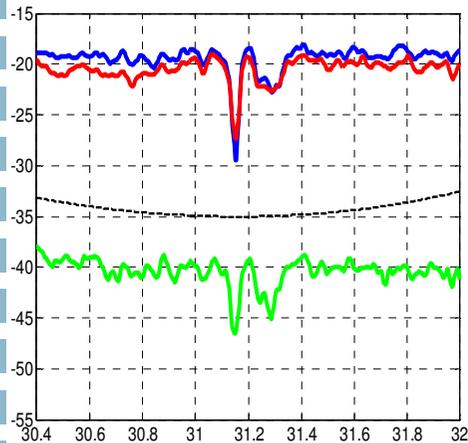
RSb 08.06.2011 17:27



RSa 08.06.2011 05:59

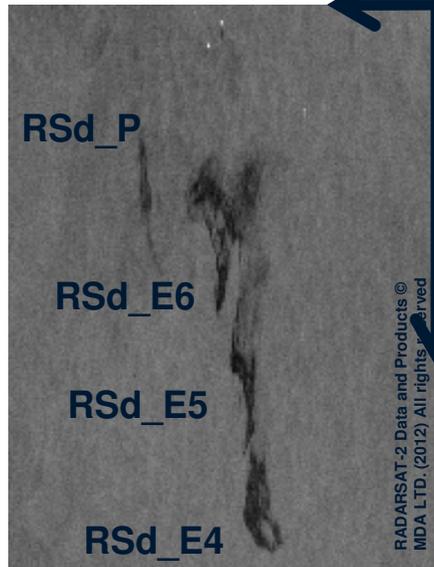


RSc 15.06.2012 17:48

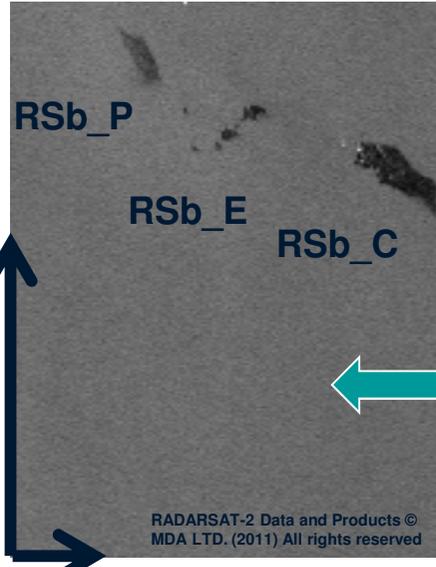


Снимки Oil Spill Exercise 2011-2012

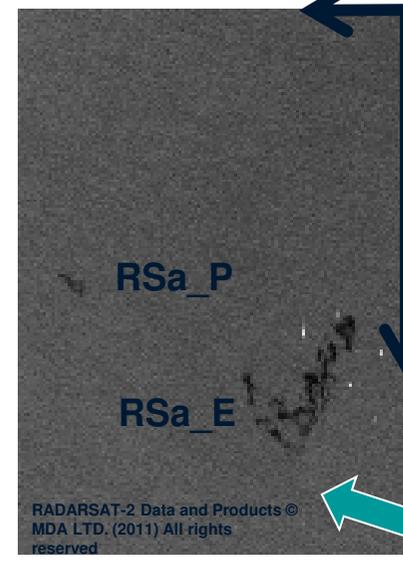
RSd 08.06.2012 06:20



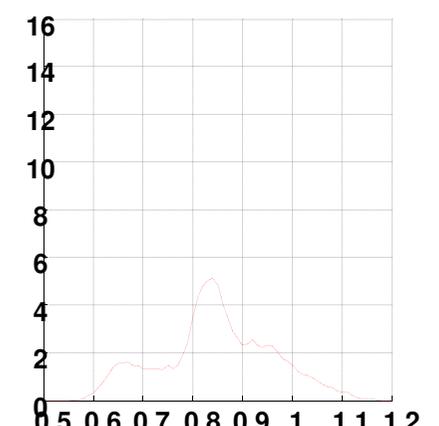
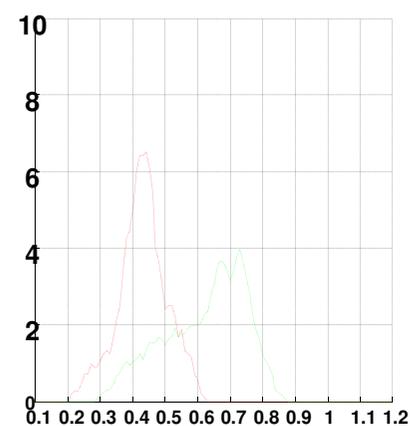
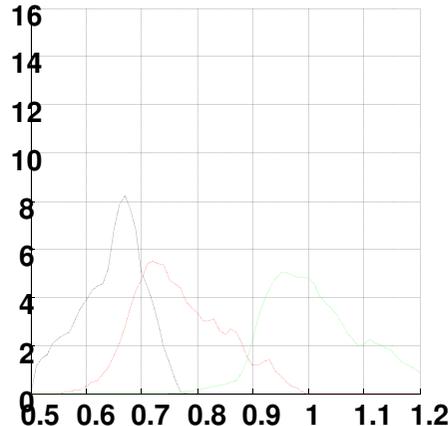
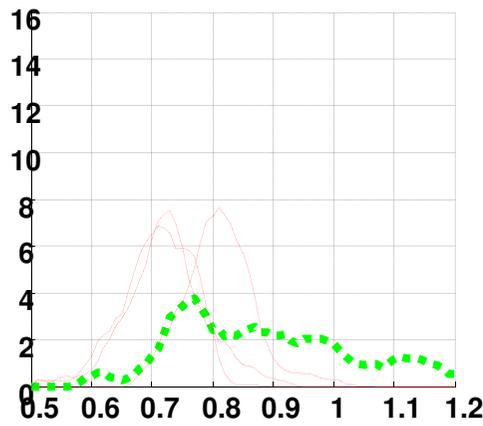
RSb 08.06.2011 17:27



RSa 08.06.2011 05:59



RSc 15.06.2012 17:48



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- VN (или NV) уровня -40 (до -45dB) могут быть использованы при уровне шума -35 dB
- с помощью VN и VV (или NV) можно производить разделение типов сликков
- VN содержит примерно равные доли берегового рассеяния и рассеяния от обрушений



Спасибо за внимание

Авторы выражают признательность норвежскому оператору Kongsberg satellite Services (**KSAT**), предоставившему для анализа в рамках программы Канадского космического агентства SOAR, проект № 648, данные спутника Radarsat-2 для Северного моря. А также российскому оператору **SCANEX**, предоставившему для анализа данные спутника Radarsat-2 для Каспийского моря. Исключительные права на данные Radarsat-2 принадлежат компании MacDonald, Dettwiler and Associates Ltd.(MDA).

Работа, связанная с анализом разливов в Северном море, выполнена при поддержке российско-норвежского проекта **РФФИ № 18-55-20010**. Часть анализа, относящаяся к Каспийскому морю, была выполнена при поддержке **РНФ №14-50-00095** «Мировой океан в XXI веке: климат, экосистемы, ресурсы, катастрофы».

ivonin@ocean.ru

