

Динамические явления в океане и морской лед в северо-западной части Тихого океана на изображениях РСА дециметрового диапазона со спутника ALOS-2

Митник Л.М., Хазанова Е.С., Дубина В.А.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
Владивосток*

ALOS - Advanced Land Observing Satellite

Также известен как **Daichi** (в переводе с японского «земля»)

XVI Всероссийская Открытая конференция
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА
Физические основы, методы и технологии мониторинга
окружающей среды, потенциально опасных явлений
12-16 ноября 2018

- Северо-западная часть Тихого океана характеризуется значительной сезонной и синоптической изменчивостью океанических и атмосферных явлений.
- Пассивные микроволновые измерения со спутников обеспечивают слежение за изменениями состояния системы океан-атмосфера независимо от времени суток и облачности с пространственным разрешением от 3-5 до 20-100 км.
- При отсутствии облаков изображения океана в видимом и ИК диапазонах с разрешением от 10-20 до 300-1000 м выявляют тонкую структуру полей ТПО и концентрации хлорофилла (биофизических параметров).
- На изображения РСА, работающих на дециметровых волнах, облачность и осадки не влияют, что в сочетании с разрешением от 1-10 до 100 метров и чувствительностью к характеристикам шероховатости подстилающей поверхности обеспечивает получение сведений о динамических явлениях, как в прибрежной зоне, так и в открытых районах океана.

На изображениях прибрежных и открытых районов азиатских окраинных морей, зоны взаимодействия Оясио и Куроисио, Курильских прол. и др., полученных **PCA PALSAR-2-2** со спутника Японии **ALOS-2** (и ранее с **PCA PALSAR-2-1** со спутника **ALOS-1**), *выявлены сигнатуры океанических* (течения, вихри и вихревые цепочки, ветровые и внутренние волны, зыбь, природные и антропогенные пленки, разливы нефти, морской лед и др.) *и атмосферных* (фронты, мезомасштабные конвективные гряды и ячейки, атмосферные гравитационные волны, дождевые ячейки и др.) *явлений*.

Изображения **PCA PALSAR-2-2** предоставлены JAXA для выполнения проекта 3072 : *“Oceanic dynamic phenomena and sea ice study in the Northwest Pacific Ocean and in the Eastern Arctic using L-band and C-band SAR and ancillary data”*

Радиолокаторы с синтезированной апертурой (РЛС)

Спутник	ERS-1/2	Envisat	Sentinel-1A/1B	ALOS-1/2
Сенсор	SAR	SAR	ASAR	PALSAR-2-1/2
Частота, ГГц	5.3	5.3	5.3	1.27
Длина волны, см	5.6	5.6	5.6	23.6
Поляризация	ВВ	ВВ, ГГ, ВГ, ГВ	ВВ, ГГ, ВГ, ГВ	ВВ, ГГ, ВГ, ГВ
Угол зондирования, град	20-26	15-45 (изменяемый)	15-45 (изменяемый)	8-60 (изменяемый)
Ширина полосы, км	100	100-405	60-400	3-490
Разрешение, м	25 x 25	25 x 25, 150x150	25 x 25, 150x150	1,3,6,10,60,100

Европейское космическое агентство **ERS-1** (1991-2002), **ERS-2** (1995-2011), **ENVISAT** (2002-2012), **Sentinel-1A** (2014 -...), **Sentinel-1B** (2016- ...)

Япония **ALOS-1** (2006-2011), **ALOS-2** (2014 -)

Канада **RADARSAT- 1** (1995 - 2013), **RADARSAT-2** (2007 -...)

Индия **RISAT-1** (2011 -...), Китай, Корея,

Россия **Condor** (2013 - 2015)

Германия, Италия **Terra-SAR**

Данные

Изображения **PALSAR-2-2** ($\lambda = 23,6$ см) за 2015 - 2017.

Для интерпретации РСА сигнатур привлекались *ИК и видимые изображения* со спутников **Landsat-7/-8**, **SNPP**, **Terra** и **Aqua**, яркостные температуры в микроволновом диапазоне со спутников **GCOM-W1** и **GPM**, синоптические карты, карты подводной топографии, показания береговых метеостанций и др.

Landsat-8 OLI (Operational Land Imager), видимый (0,433-0,680 мкм) и ближний ИК (0,845-2,3 мкм) диапазоны (8 каналов) и TIRS (Thermal Infrared Sensor), диапазоны 10,3-11,3 мкм и 11,5-12,5 мкм;

Suomi NPP VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite), **Aqua/Terra** MODIS, **GCOM-W1** AMSR2.

Пространственное разрешение SAR, OLI и TIRS – от ≈ 20 до 100 м.
Разрешение **VIIRS**, **MODIS** $\approx 400-1000$ м

Индикация льда на морской поверхности

Радиолокационное (РЛ) рассеяние от морской поверхности (значение удельной эффективной площади рассеяния – *УЭПР*) зависит от вариаций спектра ее шероховатости, от длины волны, поляризация и угла падения РЛ сигналов.

РЛ рассеяние от морского льда определяется видом льда, шероховатостью его поверхности, характеристиками снежного покрова, сплоченностью и др.). Значения *УЭПР* льда зависят также от параметров радиолокатора и от угла падения РСА.

ALOS PALSAR-2

Альbedo и радиационная температура поверхности моря и льда.

Морская поверхность

Лед: С увеличением толщины и заснеженности льда альbedo поверхности A в видимом и ближнем ИК-диапазонах растет, а радиационная температура в тепловом ИК-диапазоне $T_{рад}$ падает.

Контраст льда на фоне морской поверхности

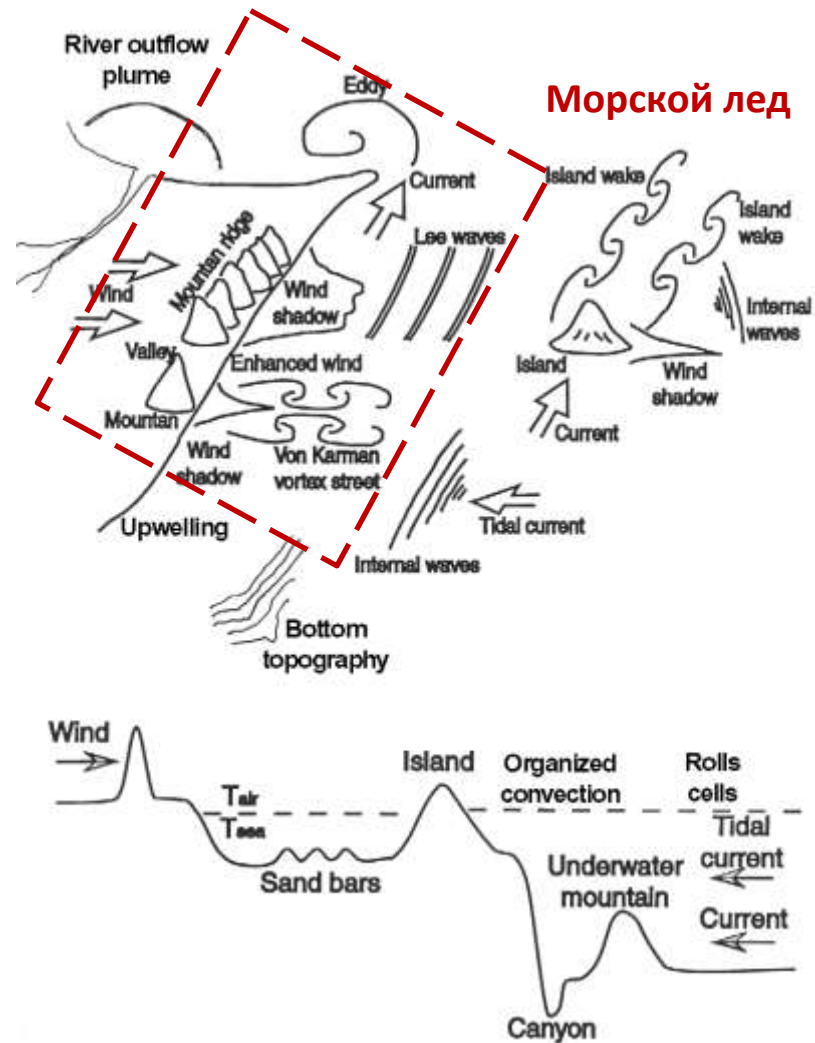
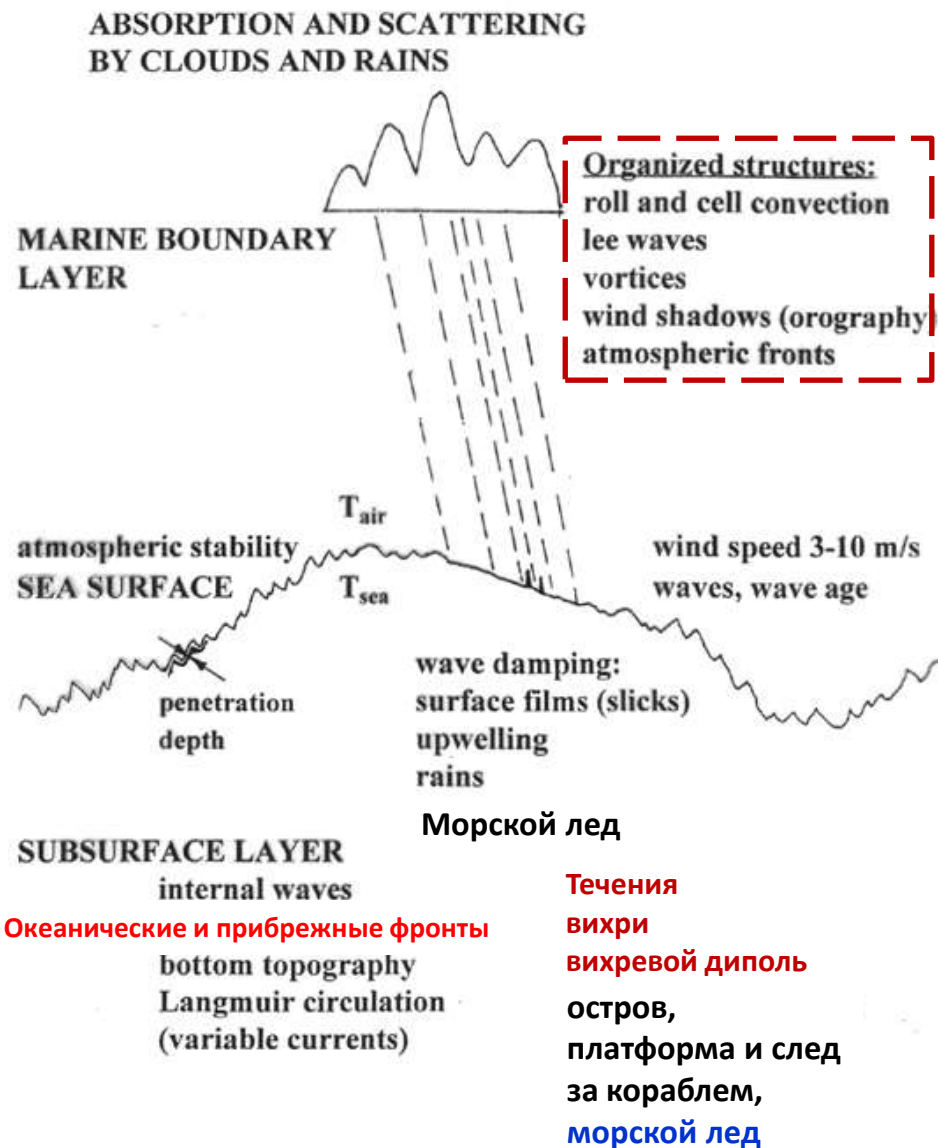
Цель работы - изучение поверхностных проявлений океанических и атмосферных явлений в северо-западной части Тихого океана на изображениях РСА L-диапазона со спутника **ALOS-2** с использованием дополнительной спутниковой и наземной информации, включая РСА С-диапазона со спутников ESA.

Выбор областей и явлений был основан на анализе предшествующих проектов с ESA и JAXA по спутниковым РСА.

Выделены следующие приоритетные области:
шельф Сахалина, Курильские проливы, Татарский пролив и залив Петра Великого в Японском море, зона взаимодействия Оясио-Курисио к востоку от Японии, Восточно-Китайское море.

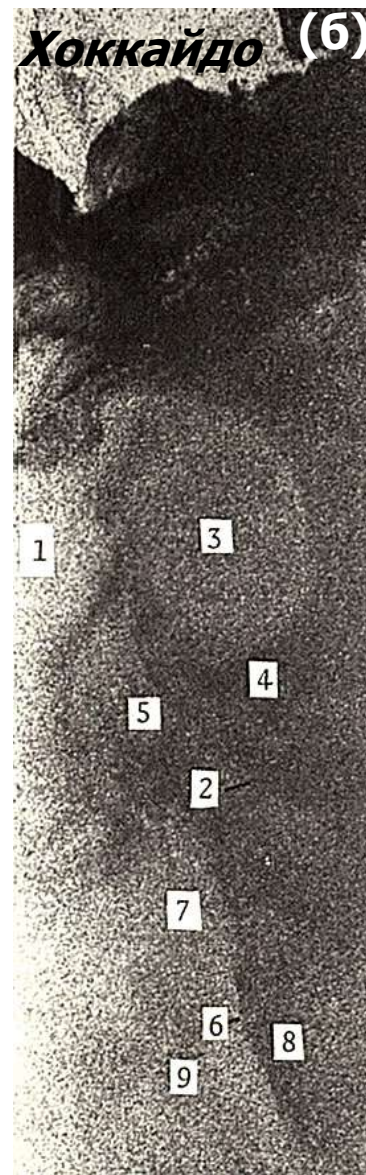
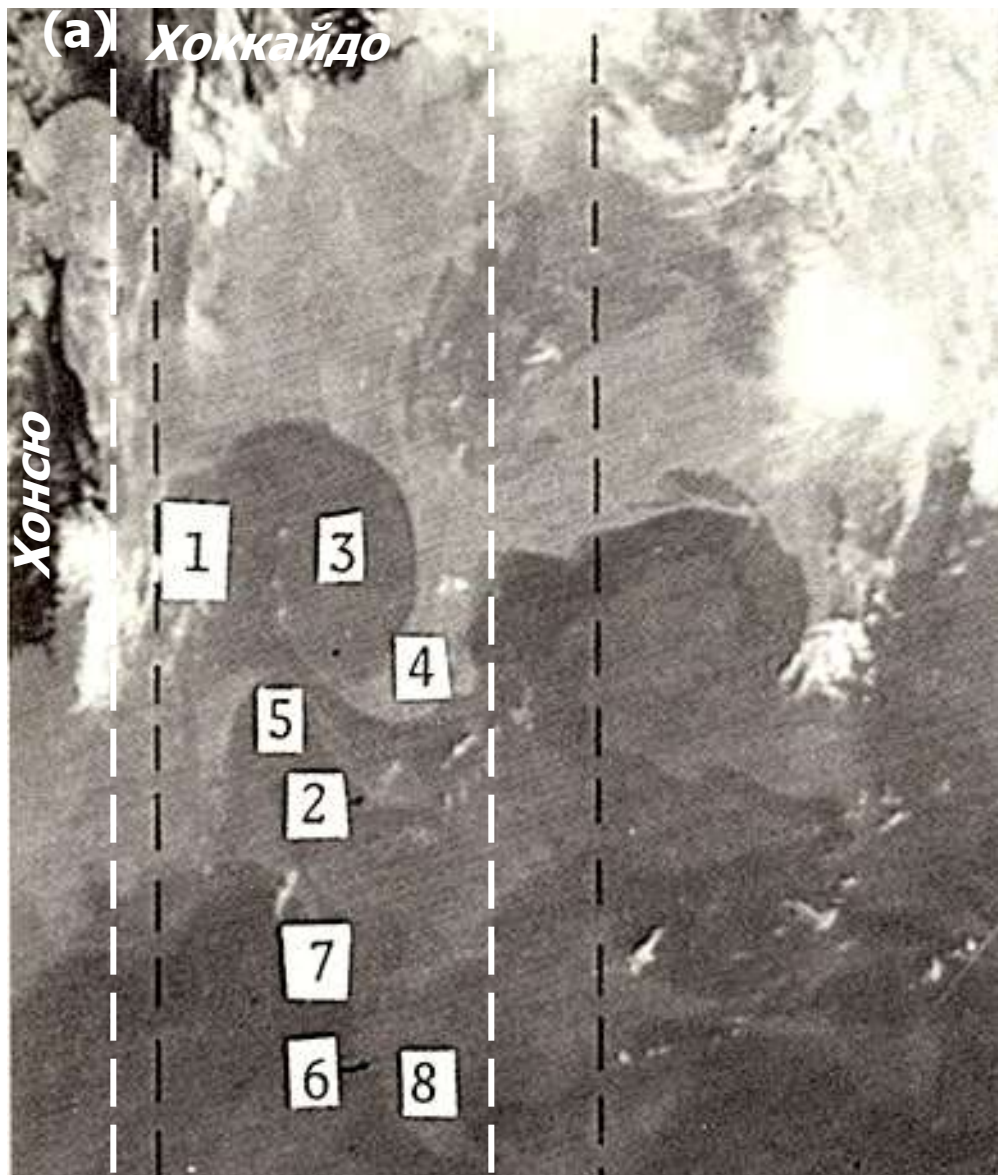
Для этих областей на изображениях РСА выделены сигнатуры, вызванные течениями, вихрями, внутренними волнами, льдом, нефтяными разливами и приводным ветром (организованная мезомасштабная конвекция, фронты, шквалы, осадки).

Океанические и атмосферные параметры и явления, влияющие на поле шероховатости и проявляющиеся на изображениях РЛС

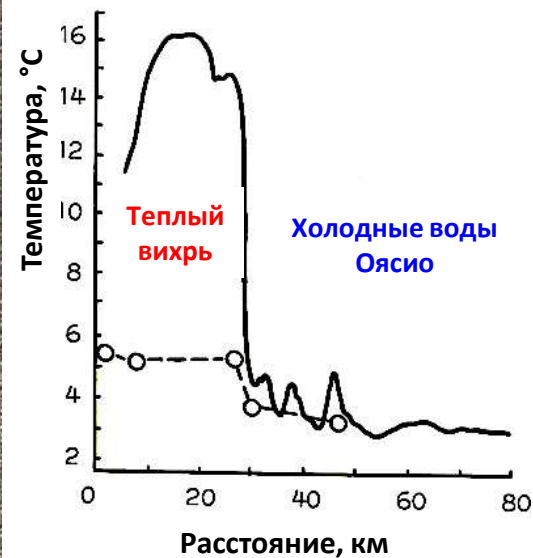


Подветренные волны
 Лед

Переходная зона Куро-Оясио



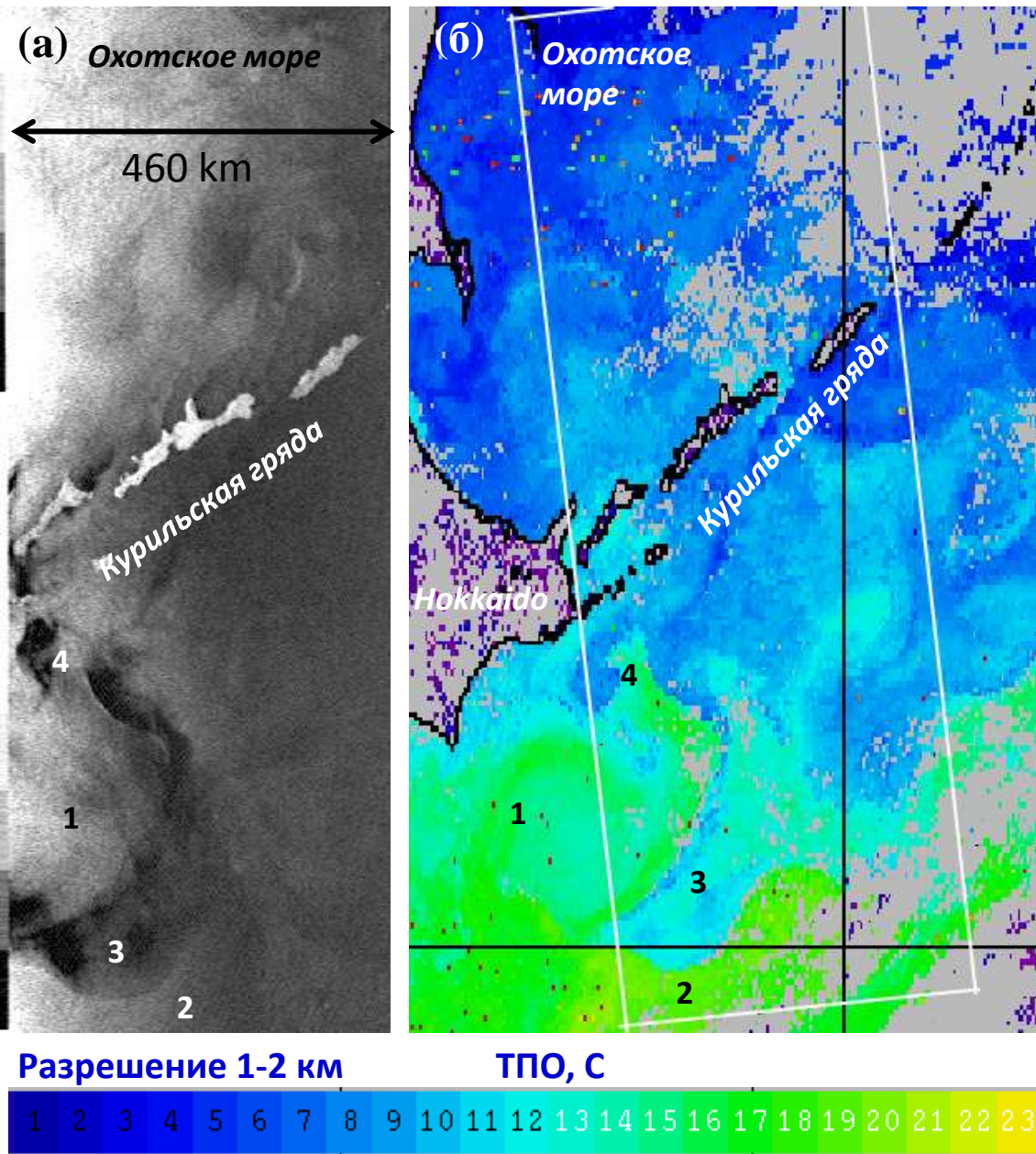
ИК-изображение
NOAA-10 AVHRR
за 30 апреля
1987 (а) и РЛС с
реальной
апертурой (X-
диапазон)
Космос-1500 (б)



Разрешение 1-2 км

L.M. Mitnik, V.B. Lobanov (1991). Reflection of oceanic fronts on satellite radar images, *Oceanography of Asian Marginal Seas*, Kenzo Takano, Ed., Amsterdam, Elsevier, pp. 85-101.

Переходная зона Куро-Оясио

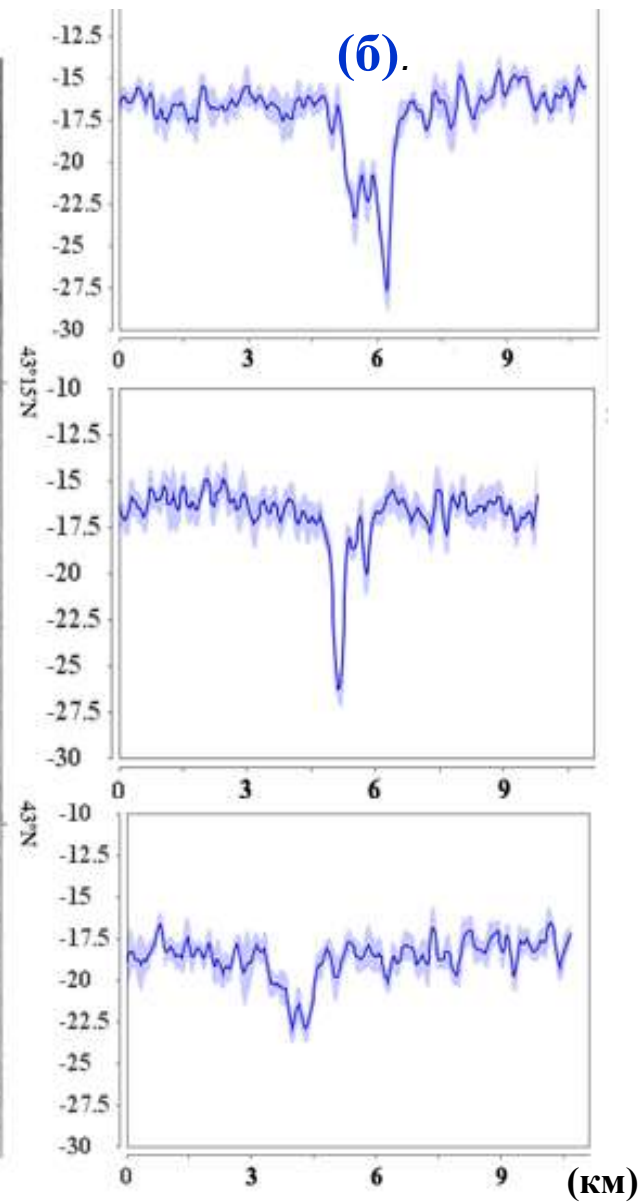
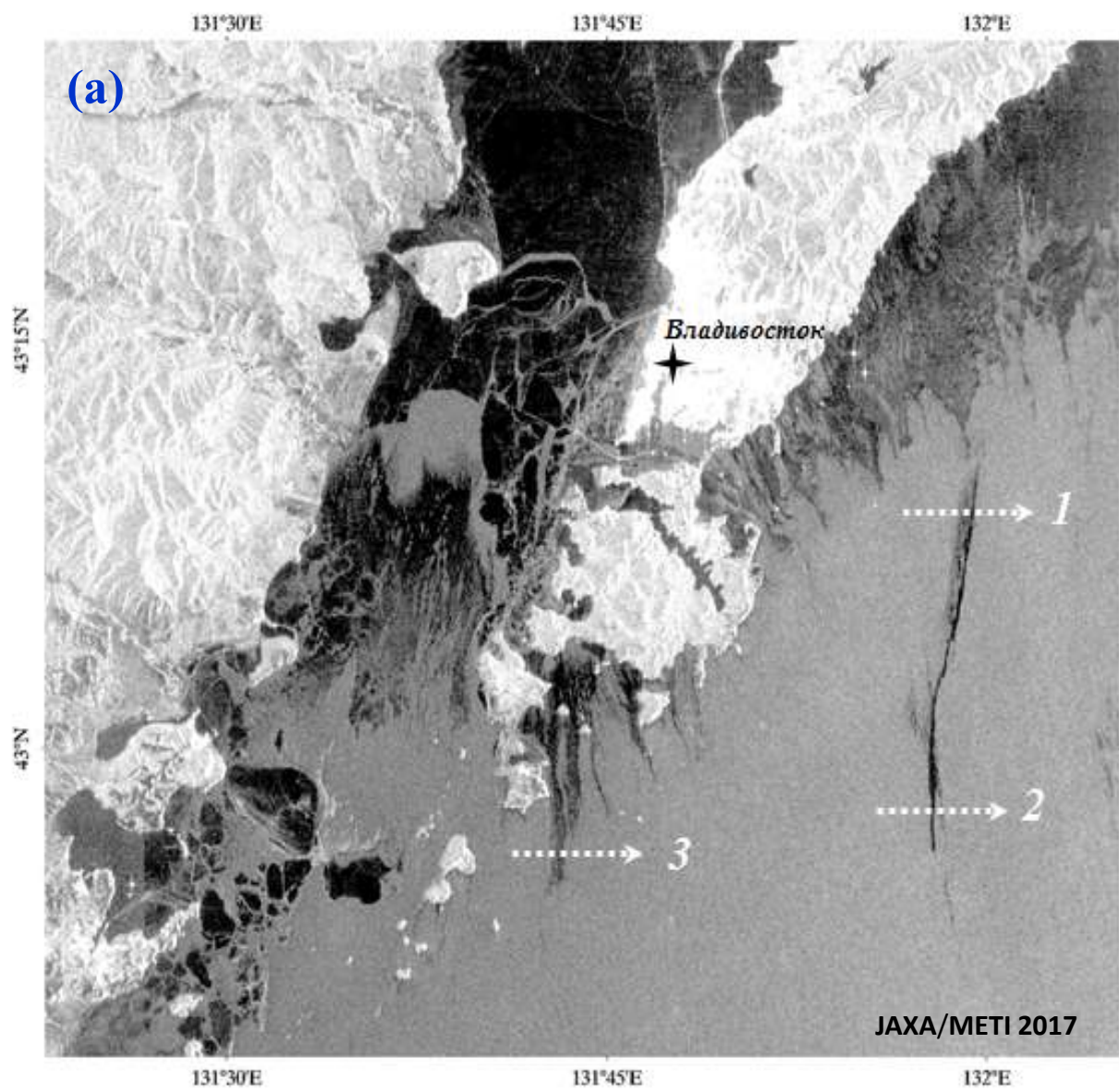


РЛС с реальной апертурой (X-диапазон) **Океан-7** (а) и ТПО по данным NOAA AVHRR (б) за 20 ноября 1999

Белый прямоугольник на (б) показывает границы изображения РЛСБО.

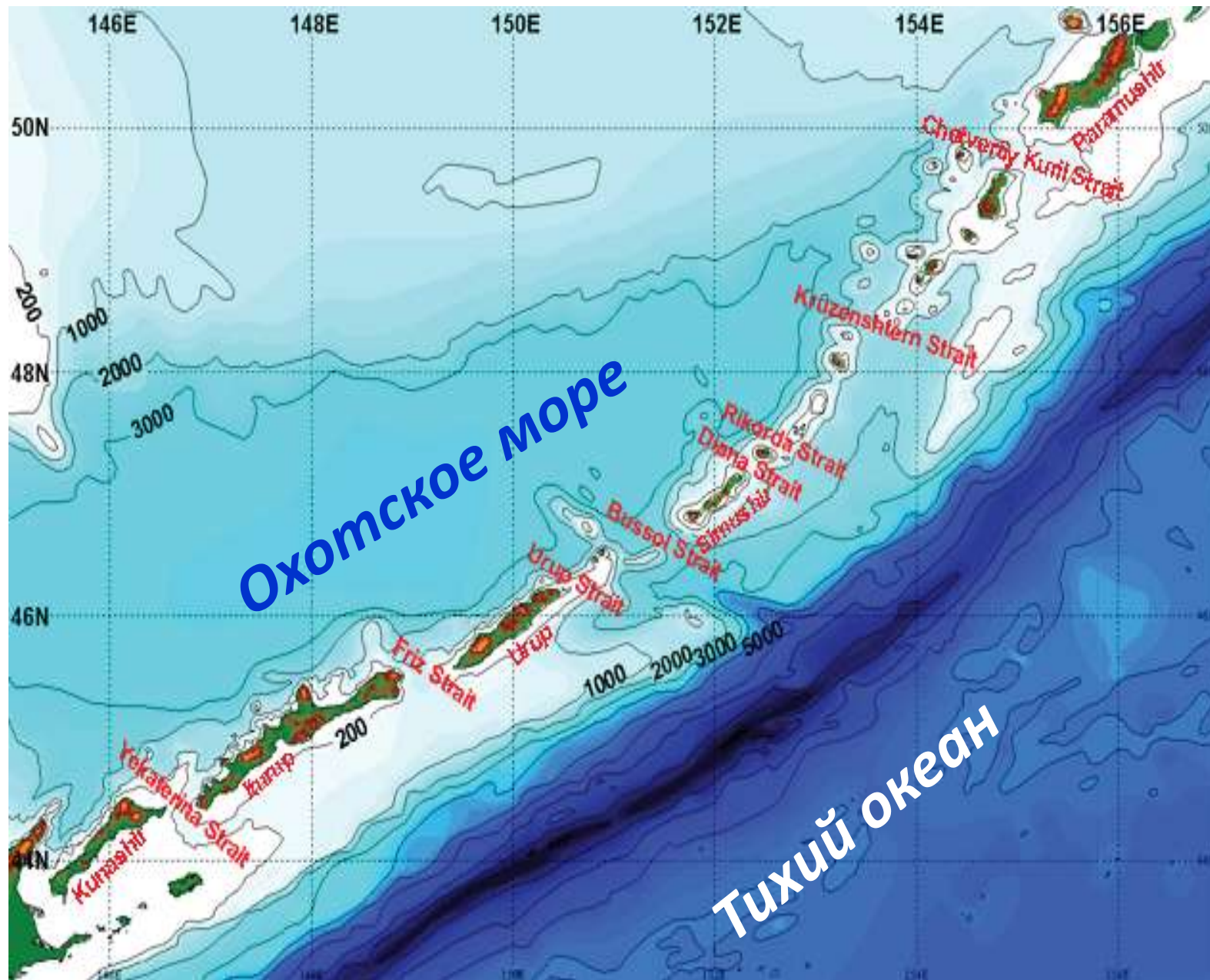
Скорость ветра к югу от Курильской гряды 5-6 м/с. Антициклонический вихрь 1, **теплые воды Куро-Оясио 2** и **холодные воды Оясио 3** видны на высококонтрастном изображении РЛСБО.

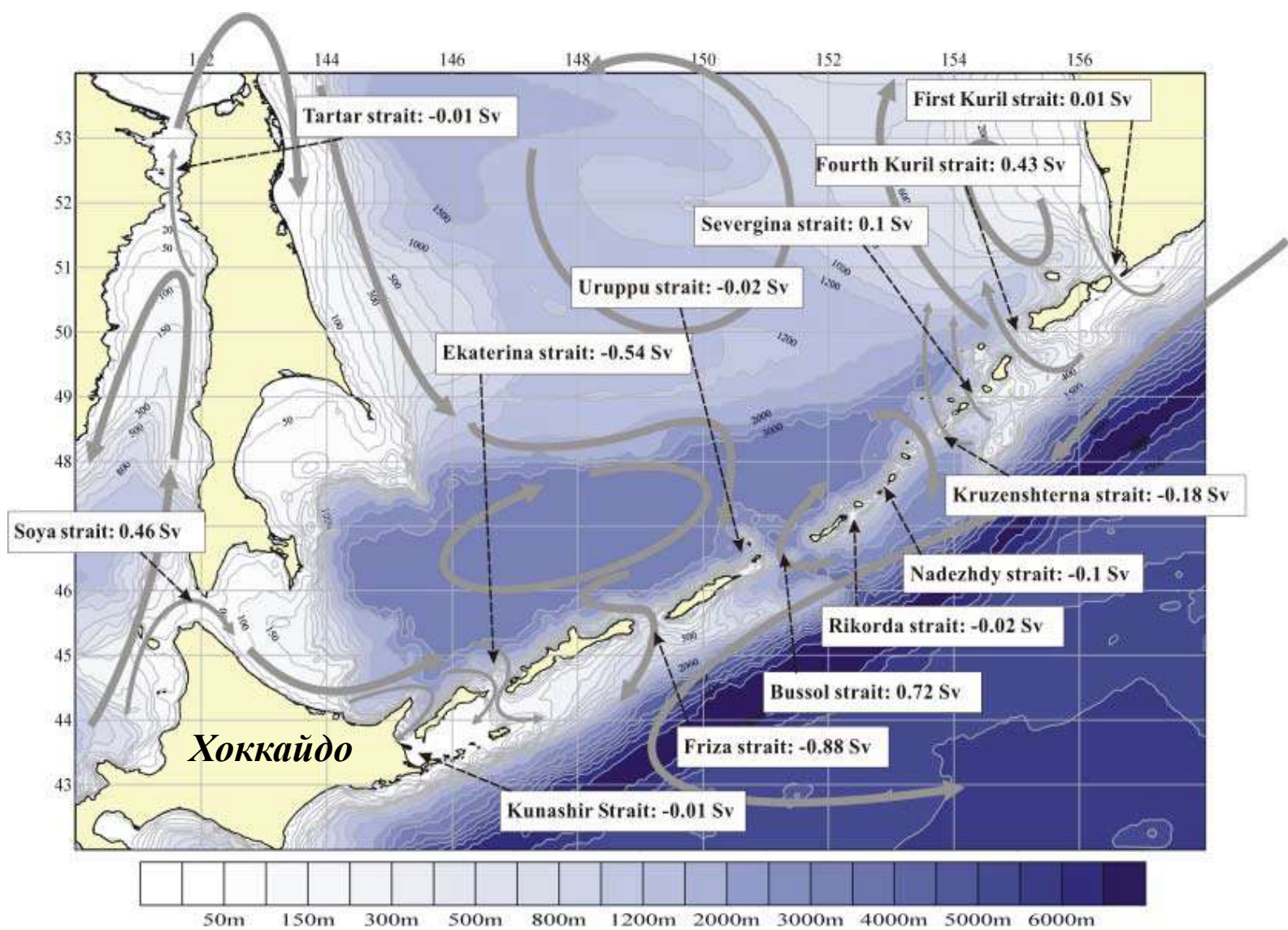
Детали поля ТПО (такие как **полоса теплых вод 4** и т.д.) хорошо видны на снимке РЛ. Разница ТПО достигает 12°C на границе вихря.



Зал. Петра Великого на изображении РСА **PALSAR-2** на ГГ поляризации, полученном со спутника **ALOS-2** 30 декабря 2017 г. в 03:22 Гр. (а) и профили УЭПР вдоль сечений 1, 2 и 3 через полосы ледяного сала (б).

Курильские острова. Проливы. Батиметрия





Результат моделирования. Водообмен через главные проливы

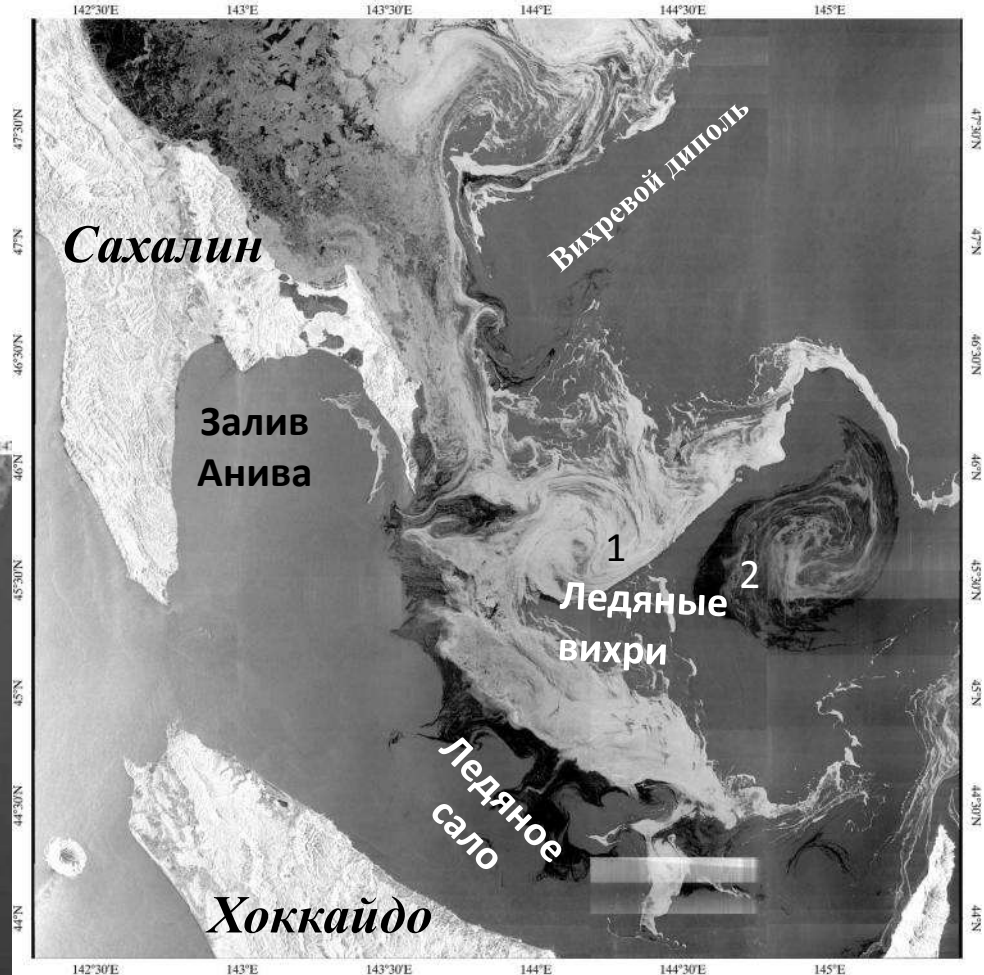
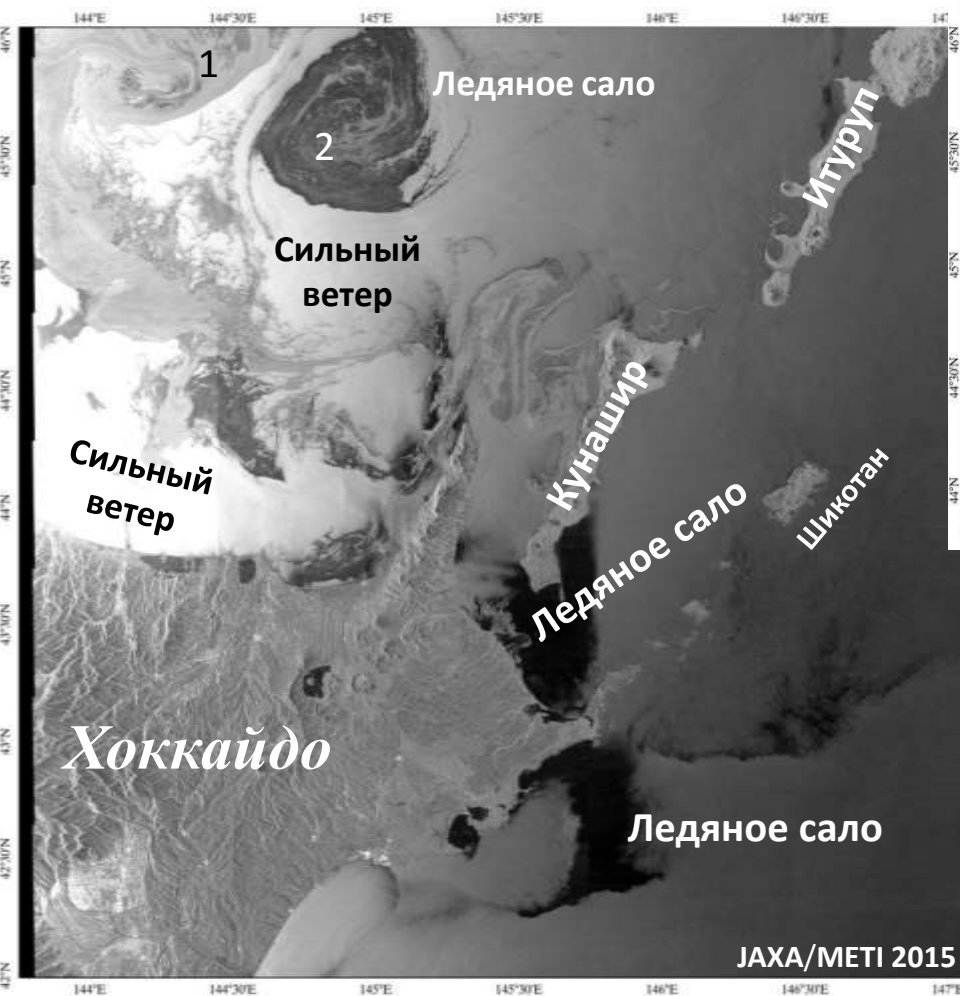
Водообмен между Охотским морем и Тихим океаном происходит главным образом через Четвёртый курильский пролив, пролив Крузенштерна, Буссоль, Фриза и Екатерины, расход воды равен 0,43 Sv, -0,18 Sv, 0,72 Sv, -0,88 Sv и -0,54 Sv соответственно (P.A. Fayman, Jong-Hwan Yoon. The numerical simulation of seasonal variability of sea water circulation in the Okhotsk Sea).



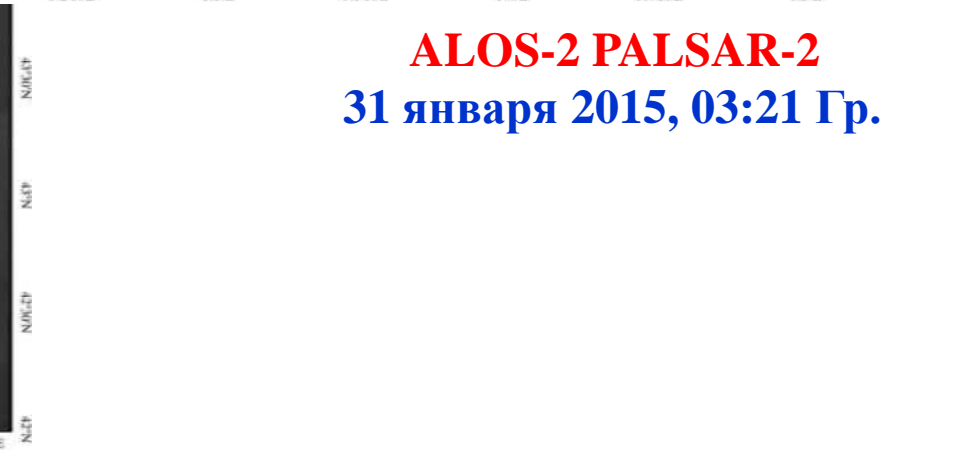
ALOS-2 PALSAR-2

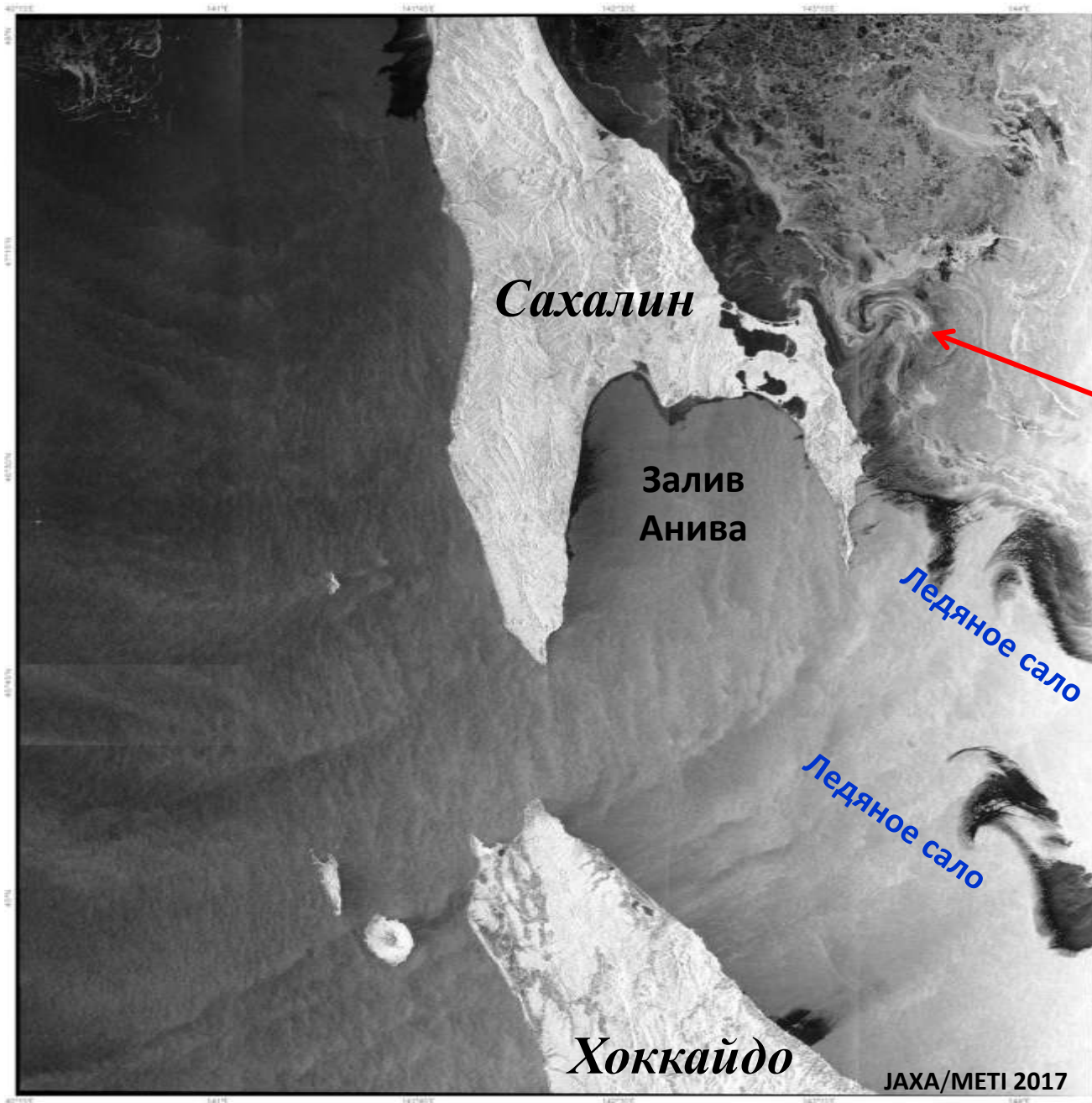
**Морской лед в юго-
западной части Охотского
моря 28 декабря 2015**

ALOS-2 PALSAR-2
30 января 2015, 02:59 Гр.



ALOS-2 PALSAR-2
31 января 2015, 03:21 Гр.

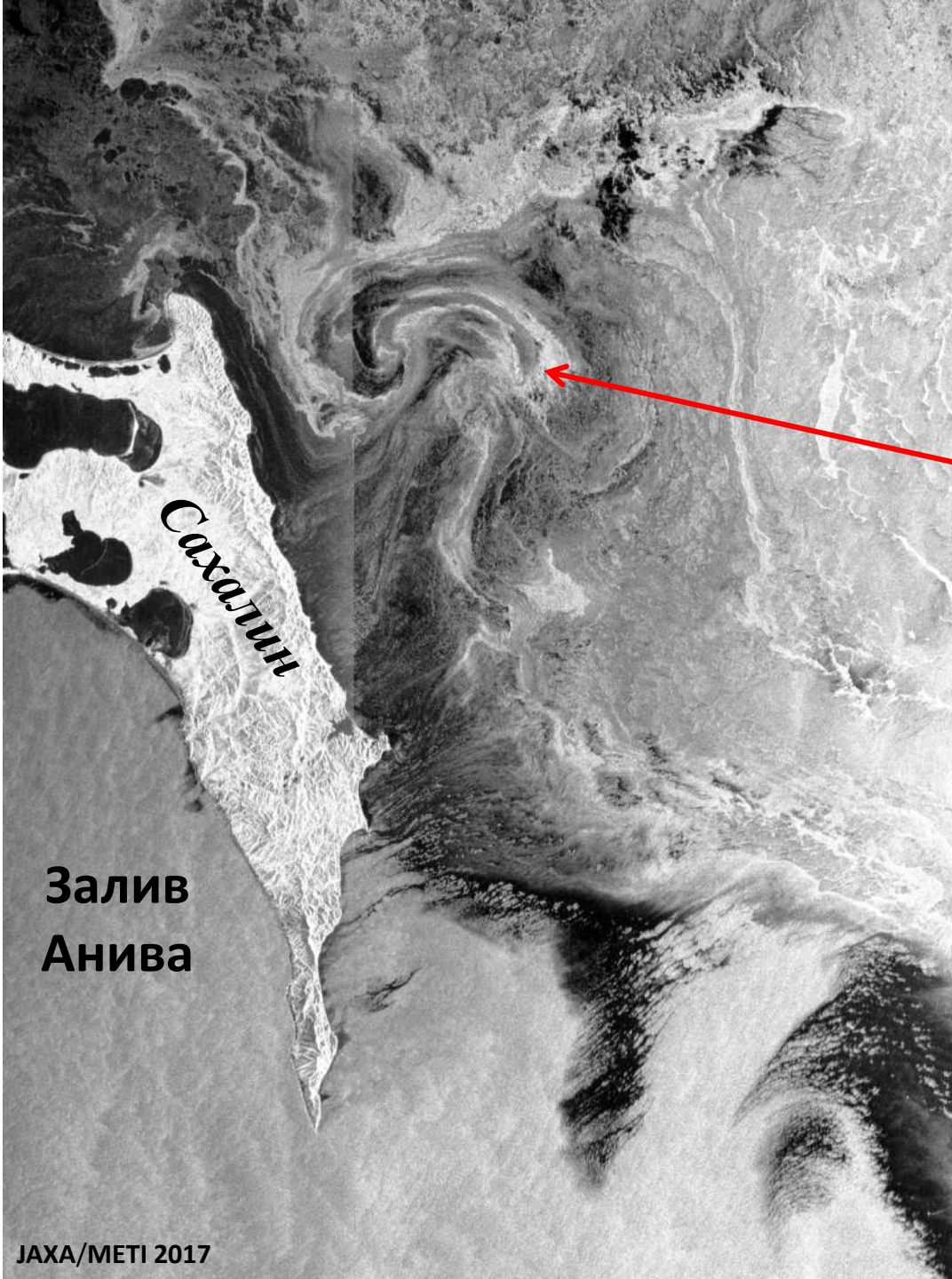




ALOS-2
PALSAR-2
12 января 2017
02:40 Гр.

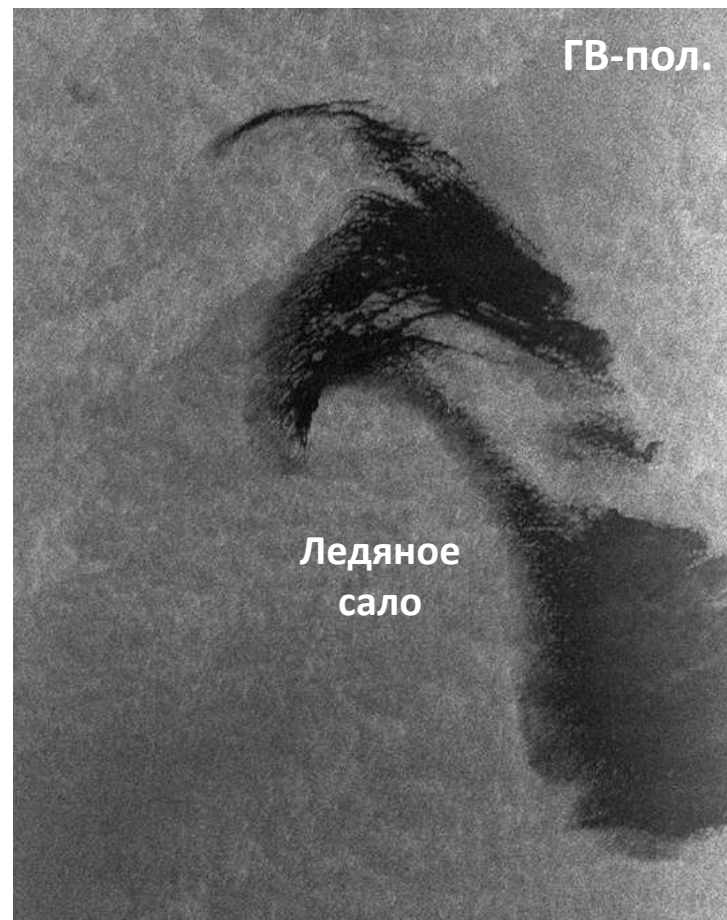
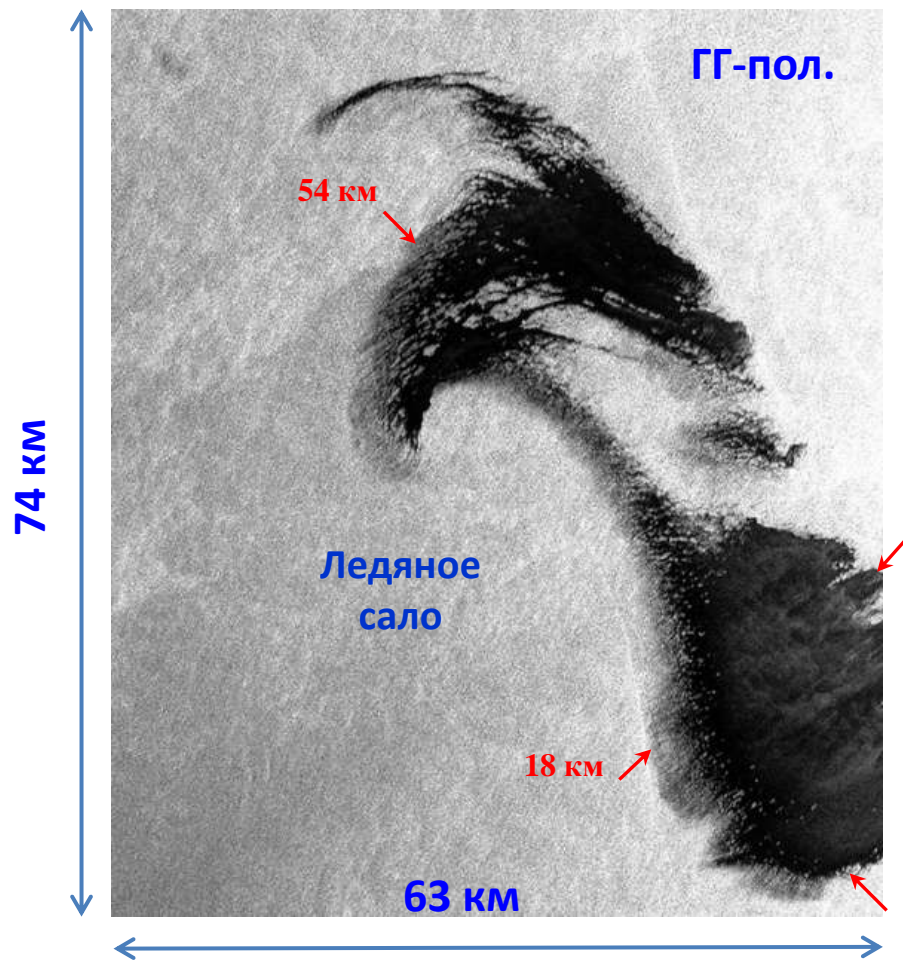
Вихревой диполь

ALOS-2 PALSAR-2
12 января 2017 02:40 Гр.



Вихревой диполь

**Залив
Анива**



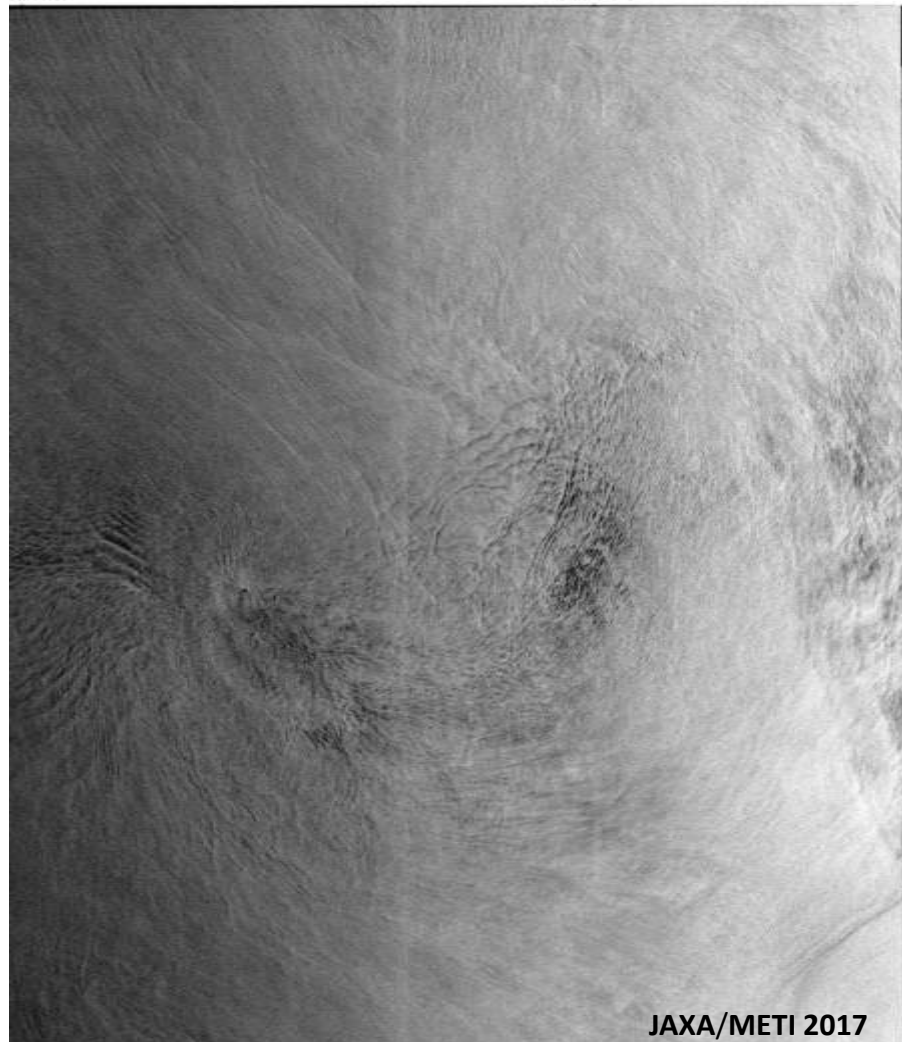
ALOS-2 PALSAR-2 12 января 2017 02:40 Гр.

ALOS-2 PALSAR-2

25 сентября 2017 02:26 Гр. ГГ-пол.

16°E

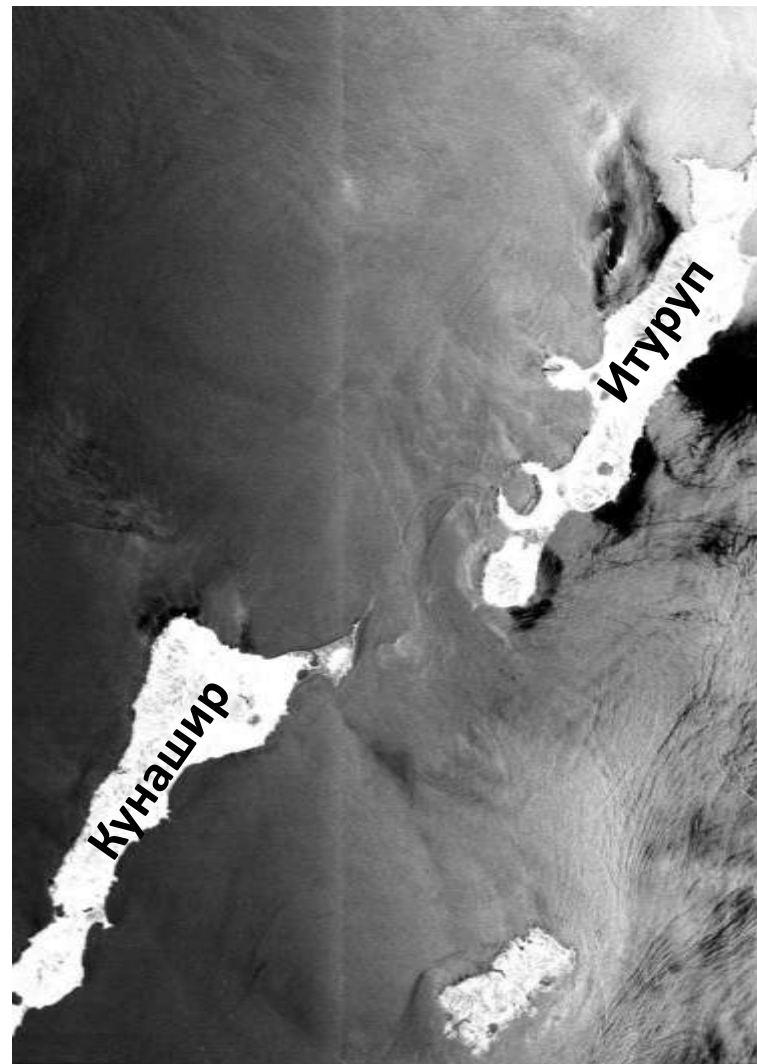
147°E



Вихрь, внутренние волны

47°N

46°N



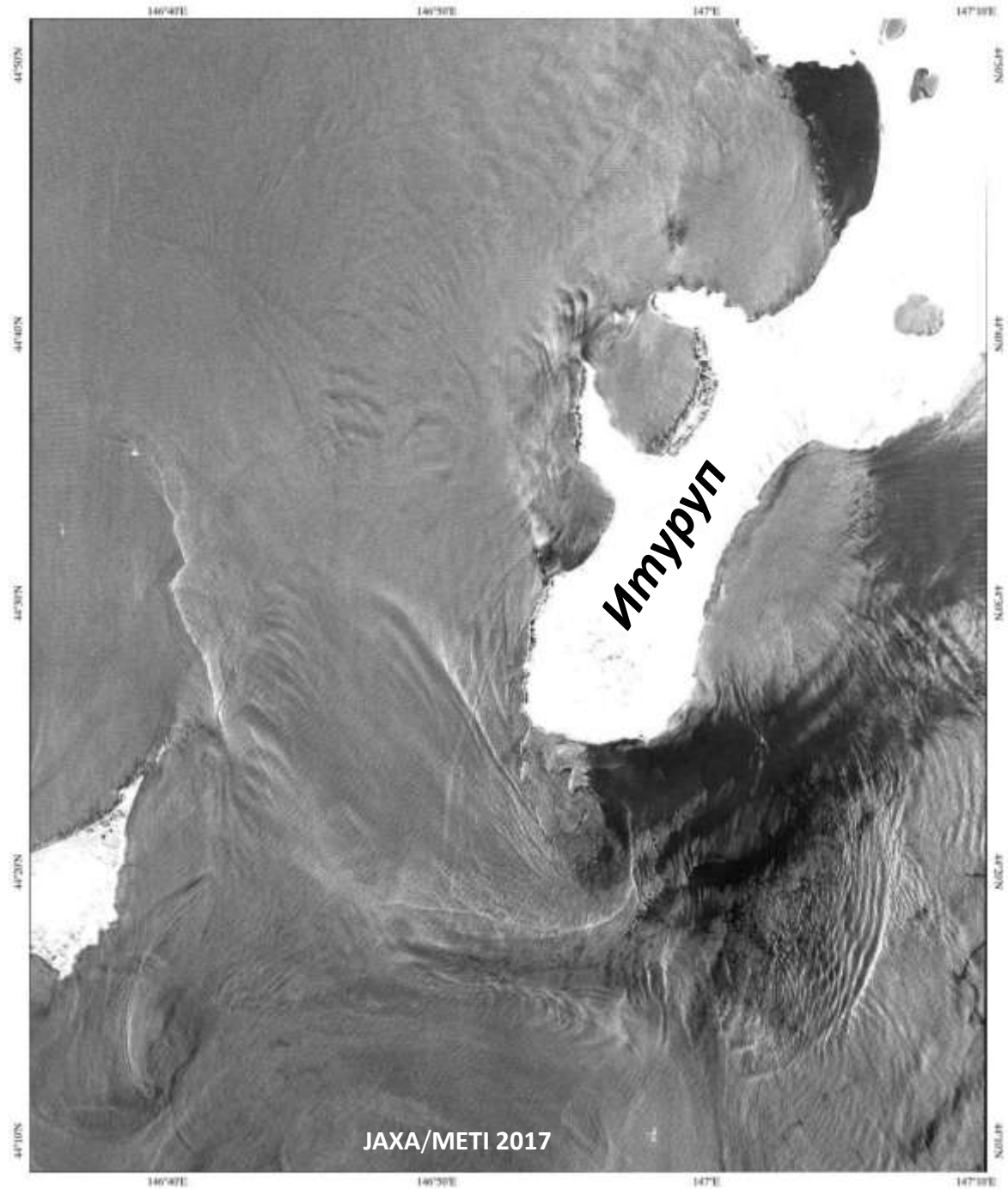
6°E

147°E

45°N

44°N

Пролив Екатерины



ALOS-2 PALSAR-2

6 сентября 2017

02:19 Гр.

пролив Екатерины

150°E

151°E

152°E

153°E

49°N

48°N

47°N

N49°

N48°

N47°

ALOS-2 PALSAR-2

ГГ-пол.

11 сентября 2016

Охотское море,

Курильские о-ва

циклон,

атмосферные

гравитационные

волны

Симушир

JAXA/METI 2016

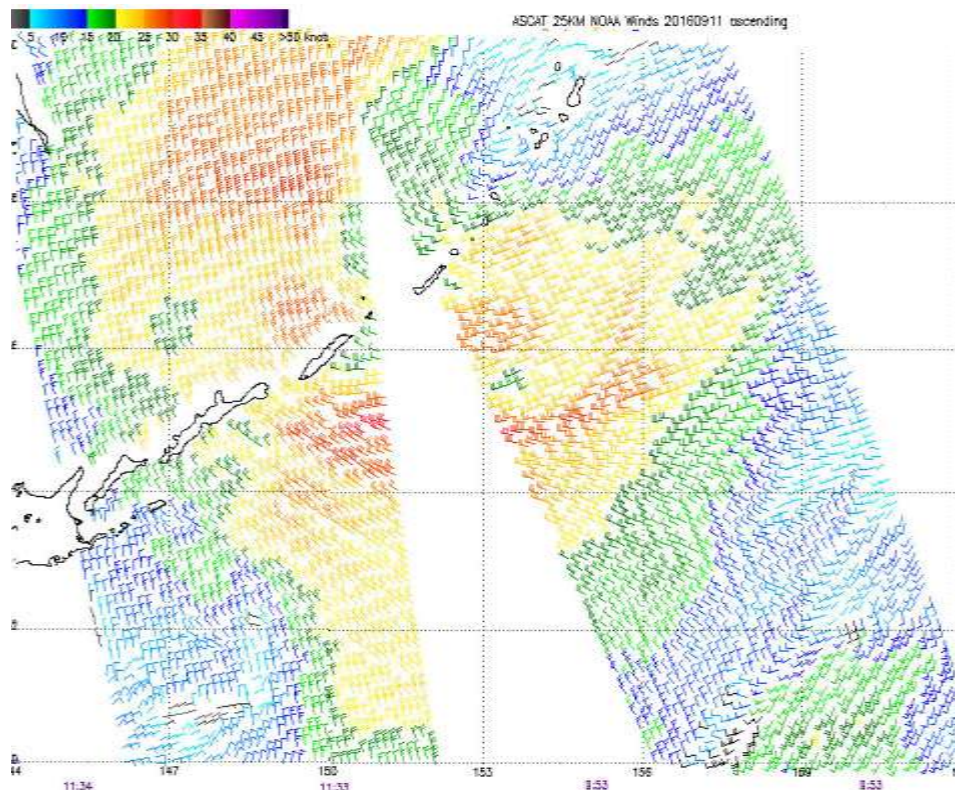
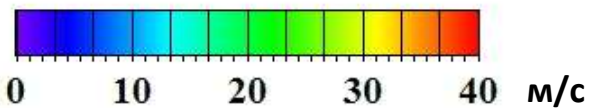
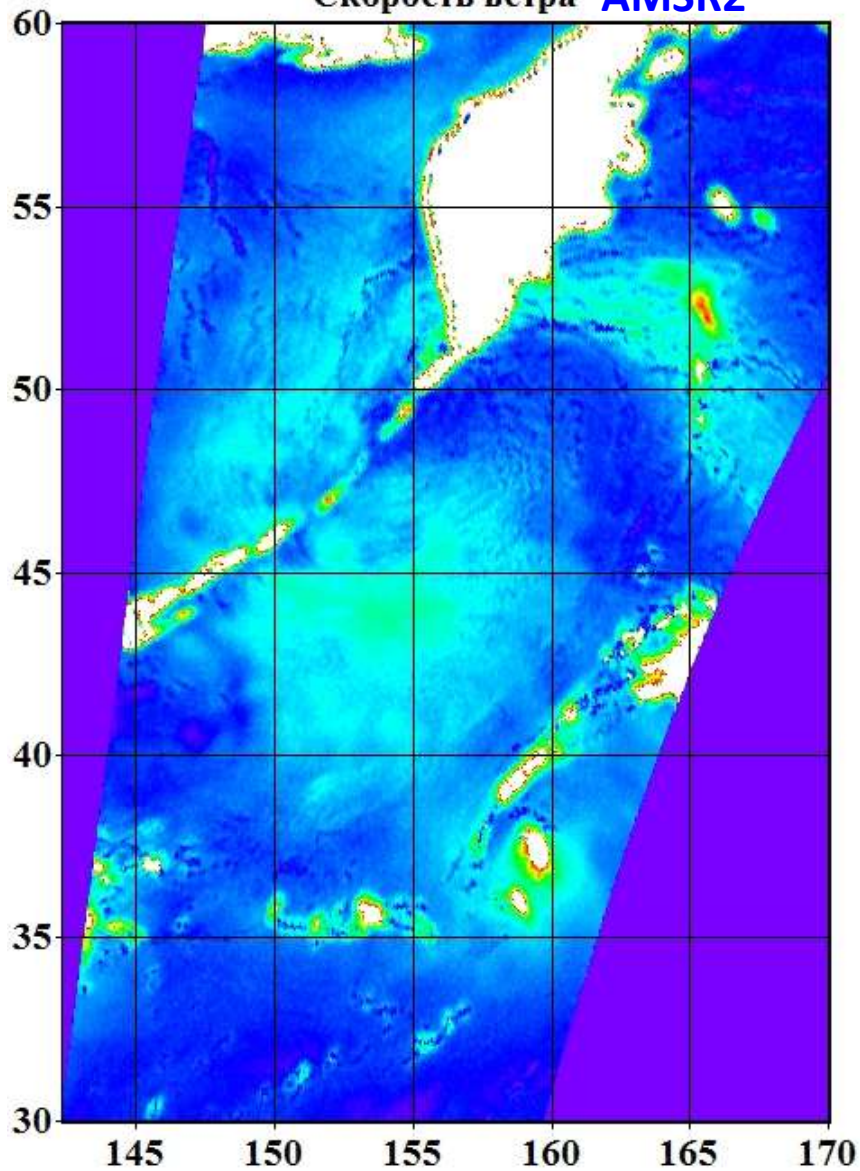
150°E

151°E

152°E

153°E

Скорость ветра AMSR2



Notes: 1) Times are GMT 2) Times along bottom correspond to measurement at 45N
3) Data buffer is 22 hrs from 20160911 4) Black wind bars indicate possible contamination
NOAA/NESDIS/Center for Satellite Applications and Research

Поле ветра по данным
скаттерометра ASCAT
11 сентября 2016

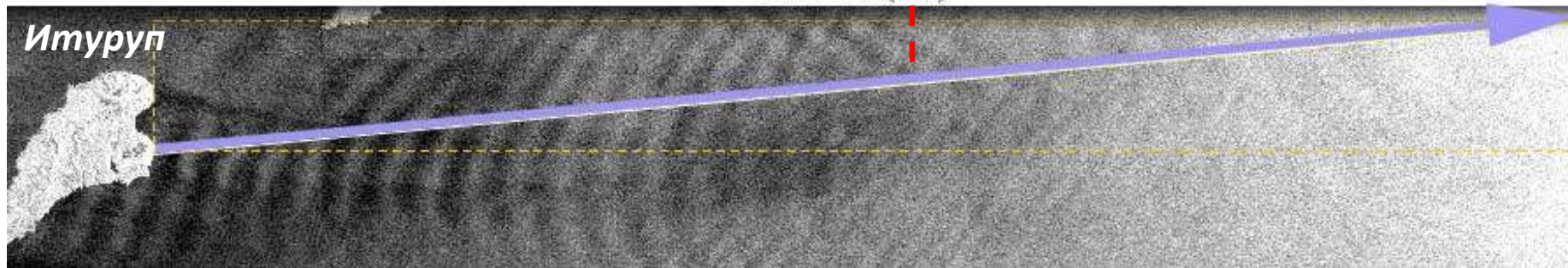
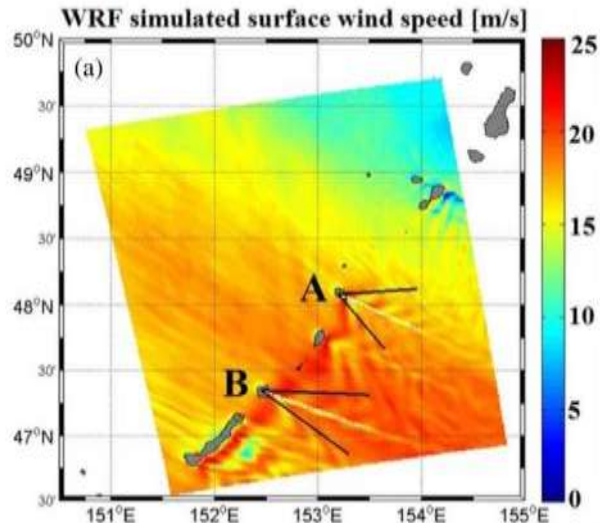
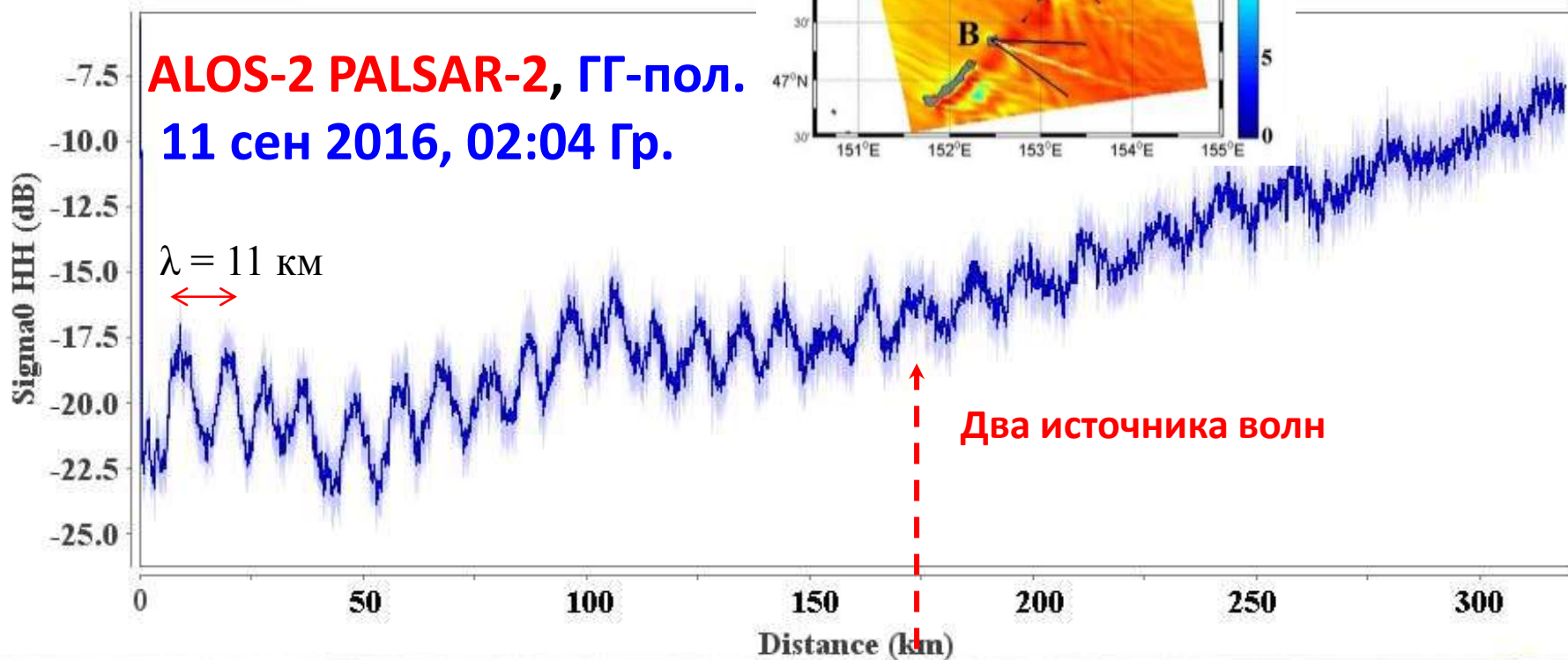
ALOS-2 PALSAR-2, ГГ-пол. 11 сентября 2016, 02:04 Гр.
Охотское море, Курильские острова, атмосферные
гравитационные волны и внутренние волны



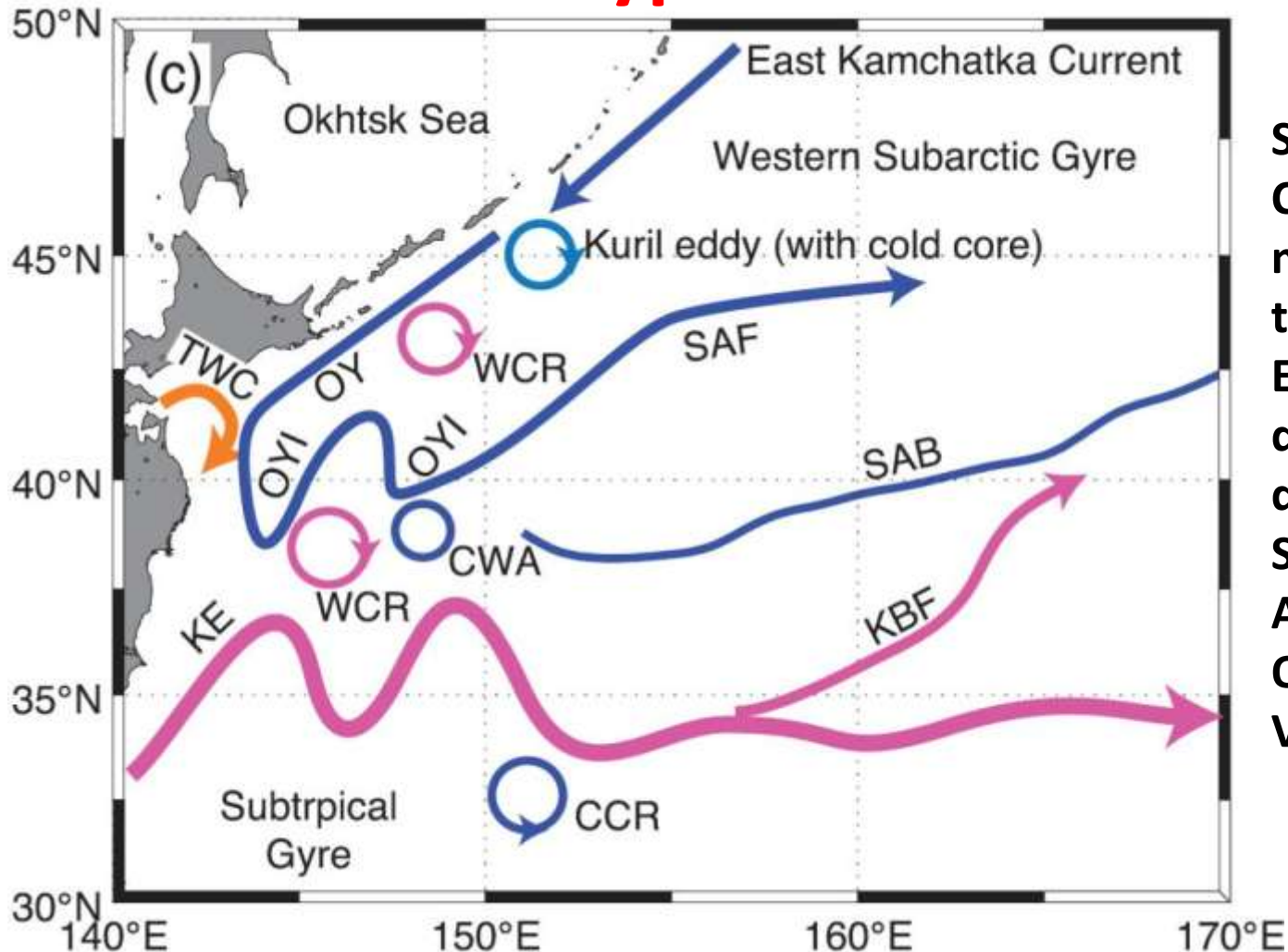
Q. Xu, et al. SAR observation and numerical simulation of mountain lee waves near Kuril Islands forced by an extratropical cyclone. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. Vol. 54, N 12, 2016. P.7157 – 716.5

Курильские о-ва

ALOS-2 PALSAR-2, ГГ-пол.
11 сен 2016, 02:04 Гр.



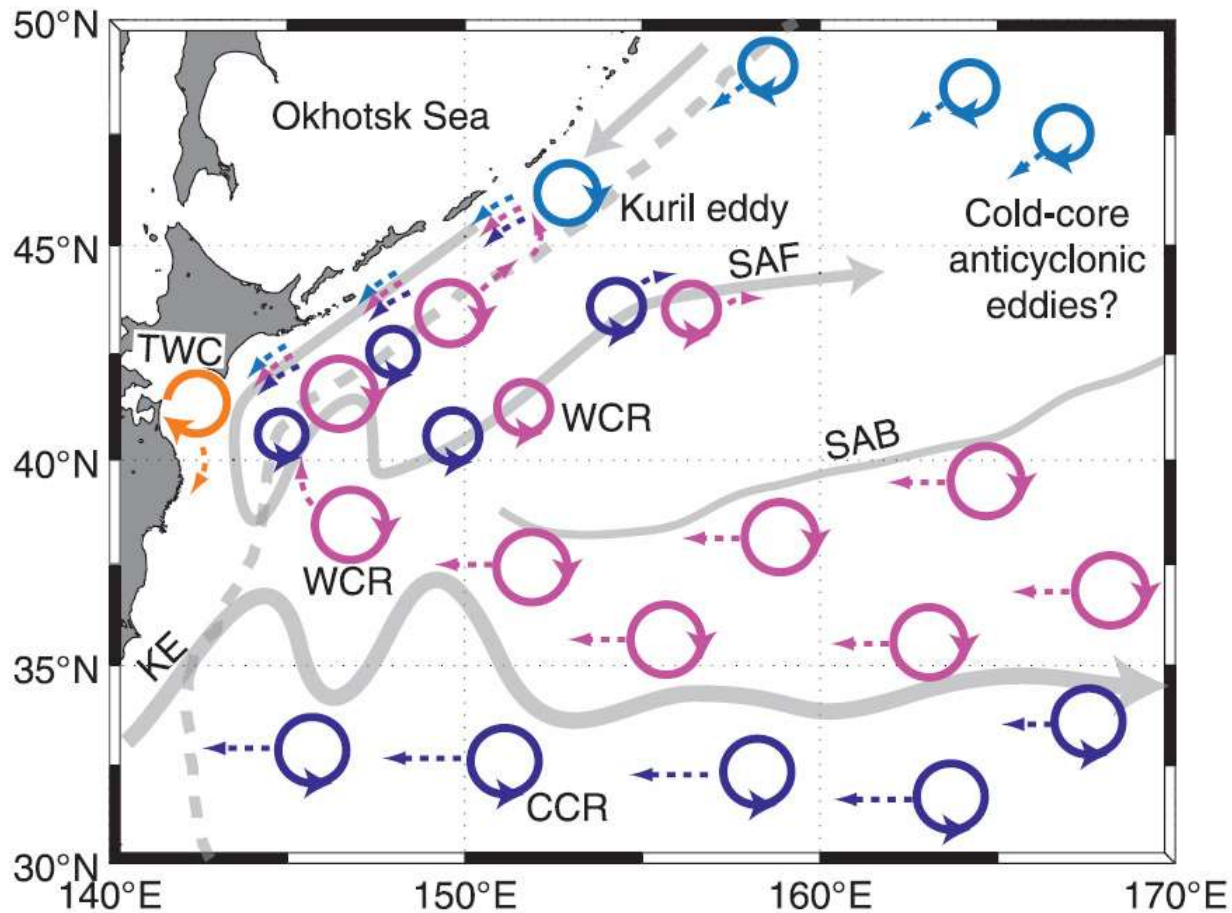
Курисио - Оясио



S. Itoh, I. Yasuda
Characteristics of
mesoscale eddies in
the Kuroshio–Oyashio
Extension Region
detected from the
distribution of the Sea
Surface Height
Anomaly. *J. Physical
Oceanography*, 2010.
V. 40, p. 1018-1034.

Субарктический фронт (SAF) и субарктическая граница (SAB) показаны черными пунктирными линиями. ОУ, ОУИ, WCR, CCR, CWA, KE, KBF и TWC отмечают течение Оясио, вторжение Оясио, ринг с теплым центром, ринг с холодным центром, область холодной воды, продолжение Курисио, бифуркация фронта Курисио и теплое Цусимское течение, соответственно.

Схема мезомасштабных вихрей в области взаимодействия Оясио и Куроисио. Тонкие пунктирные стрелки указывают направления движения



Оясио и KE, SAF и SAB показаны сплошными серыми линиями. WCR, CCR, KE, SAF, SAB и TWC отмечают ринги с теплым центром, ринги с холодным центром, продолжение Куроисио, субарктический фронт, субарктическую границу и теплое Цусимское течение, соответственно.

140°E

141°E

142°E

143°E

ALOS-2 PALSAR-2

4 апреля 2017

14:30 Гр.

N 30°

N 35°

N 30°

N 35°

140°E

141°E

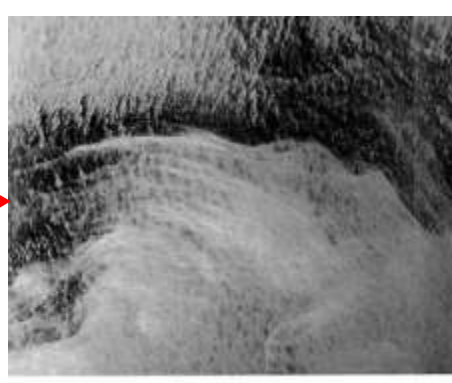
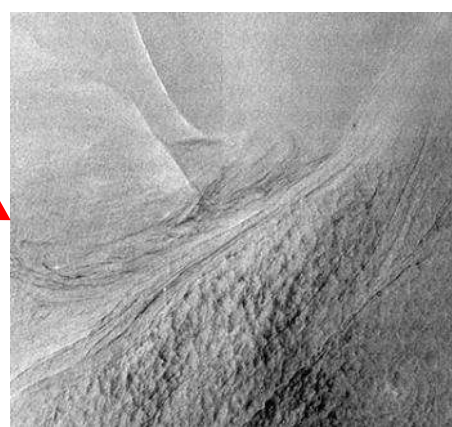
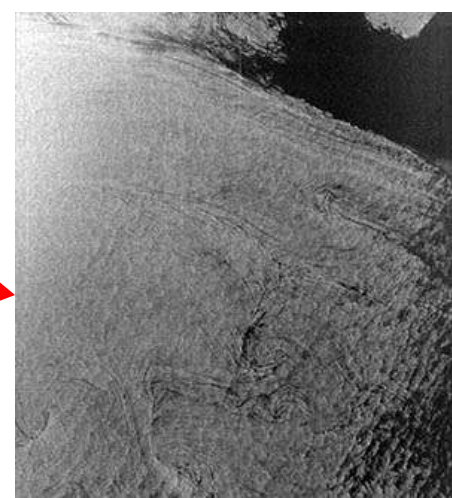
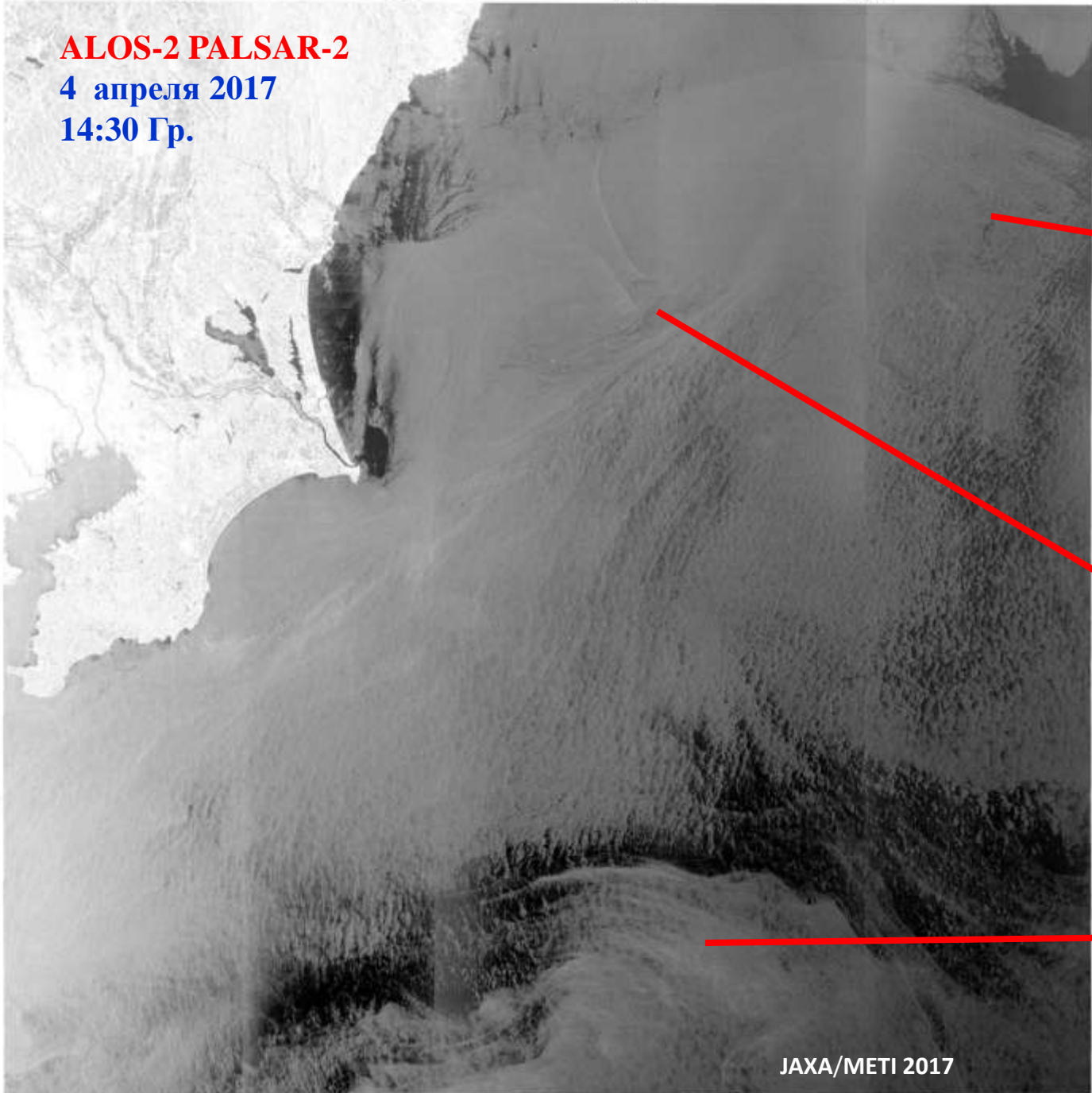
142°E

143°E

142°E

143°E

JAXA/METI 2017



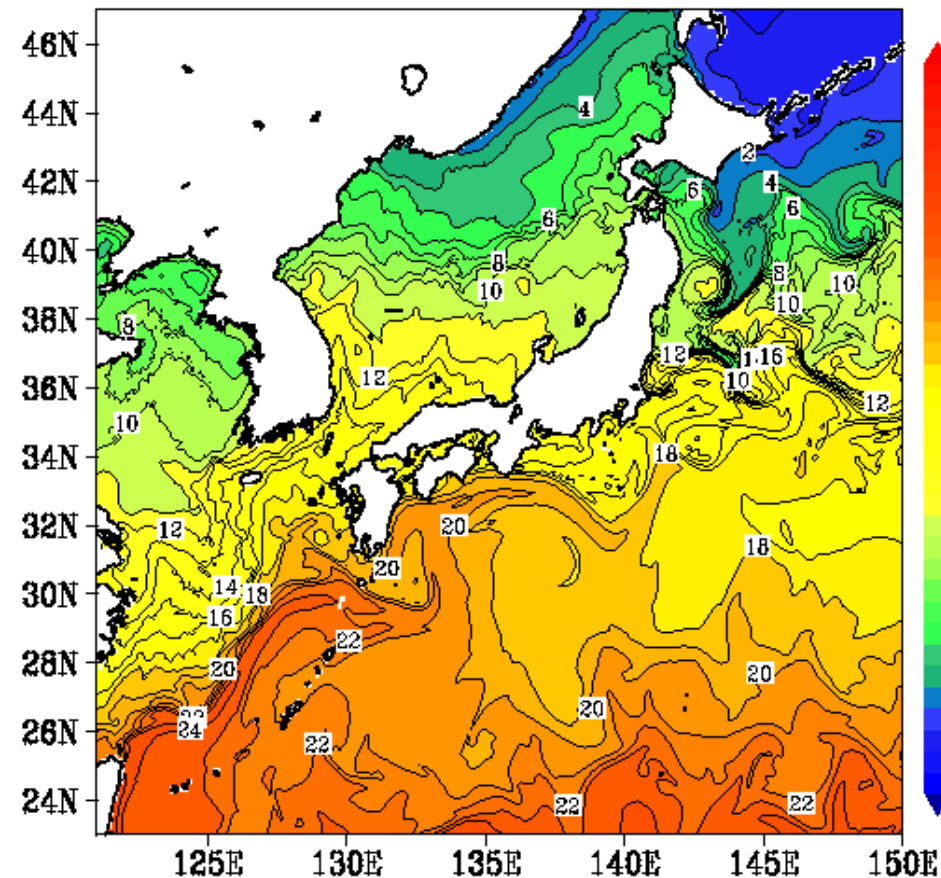
4 апреля 2017

Карты ТПО и течений на горизонте 0 м
(<http://fm.dc.affrc.go.jp/fra-roms/index.html>)

2017/04/04

FRA-ROMS

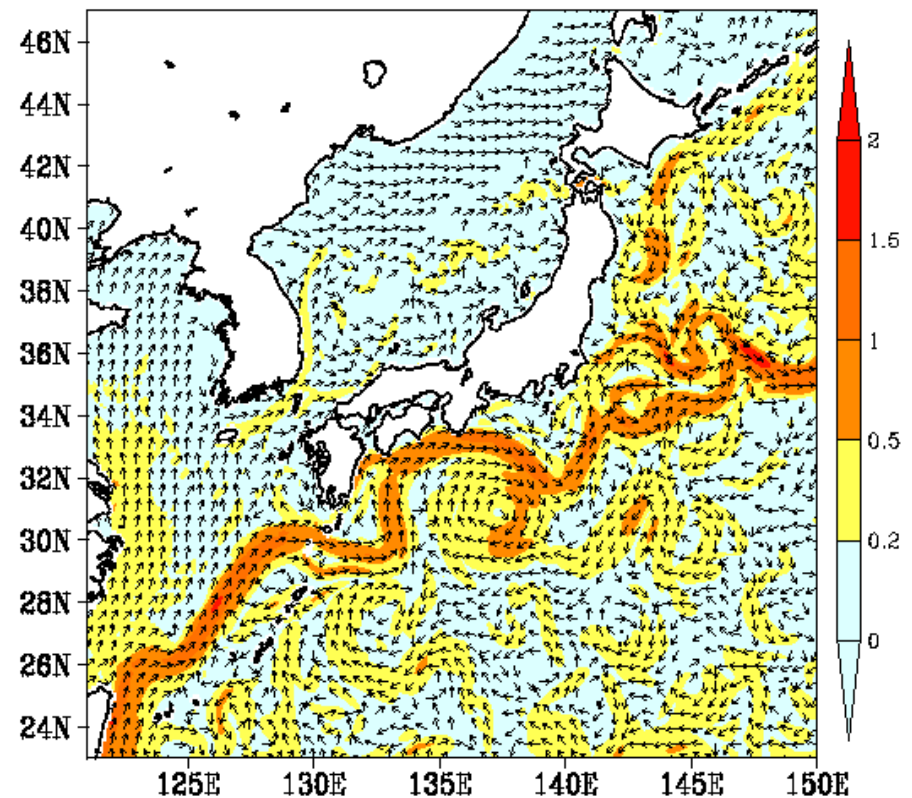
Temperature[°C] (0m)



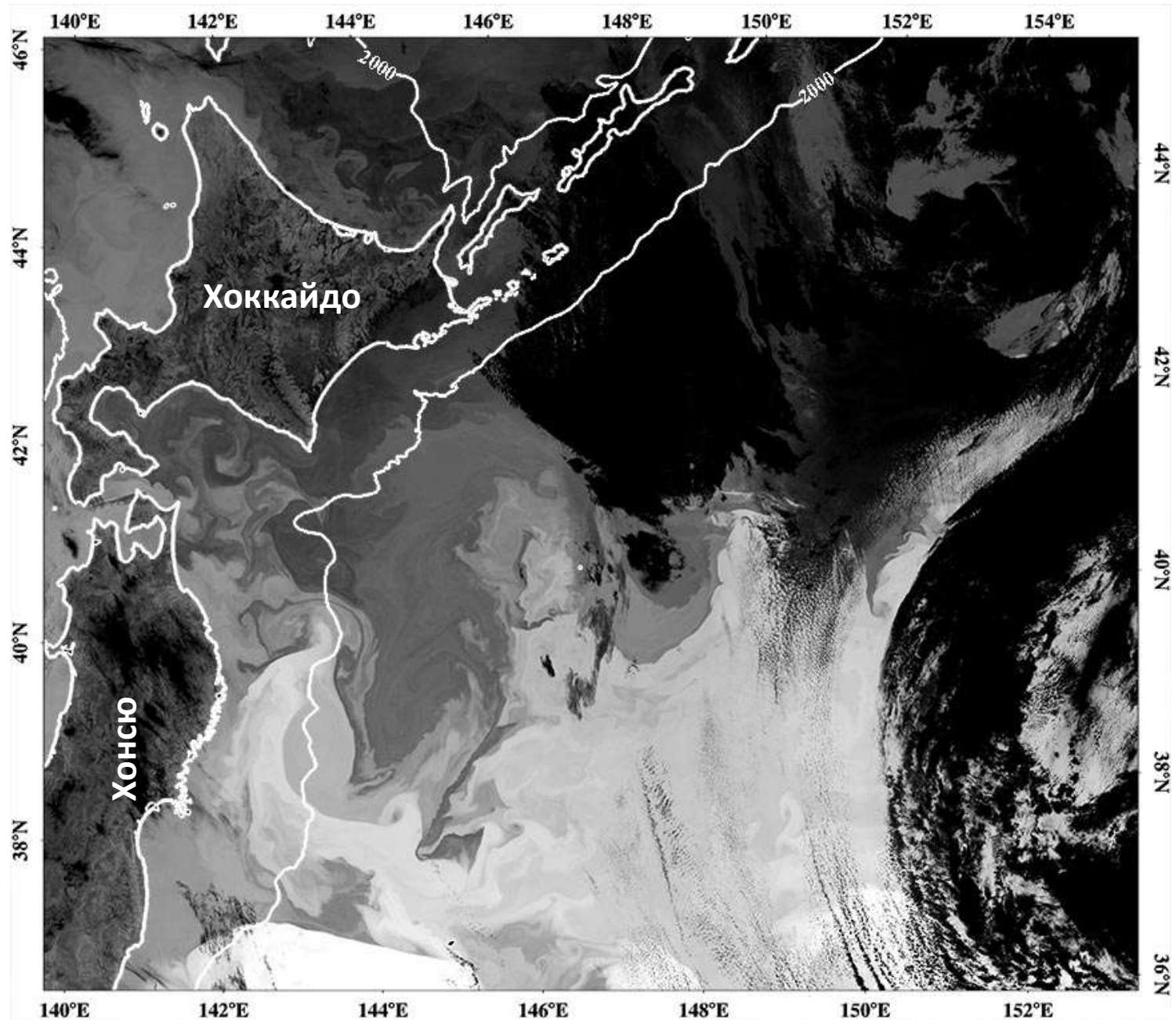
2017/04/04

FRA-ROMS

Current[m/s] (0m)



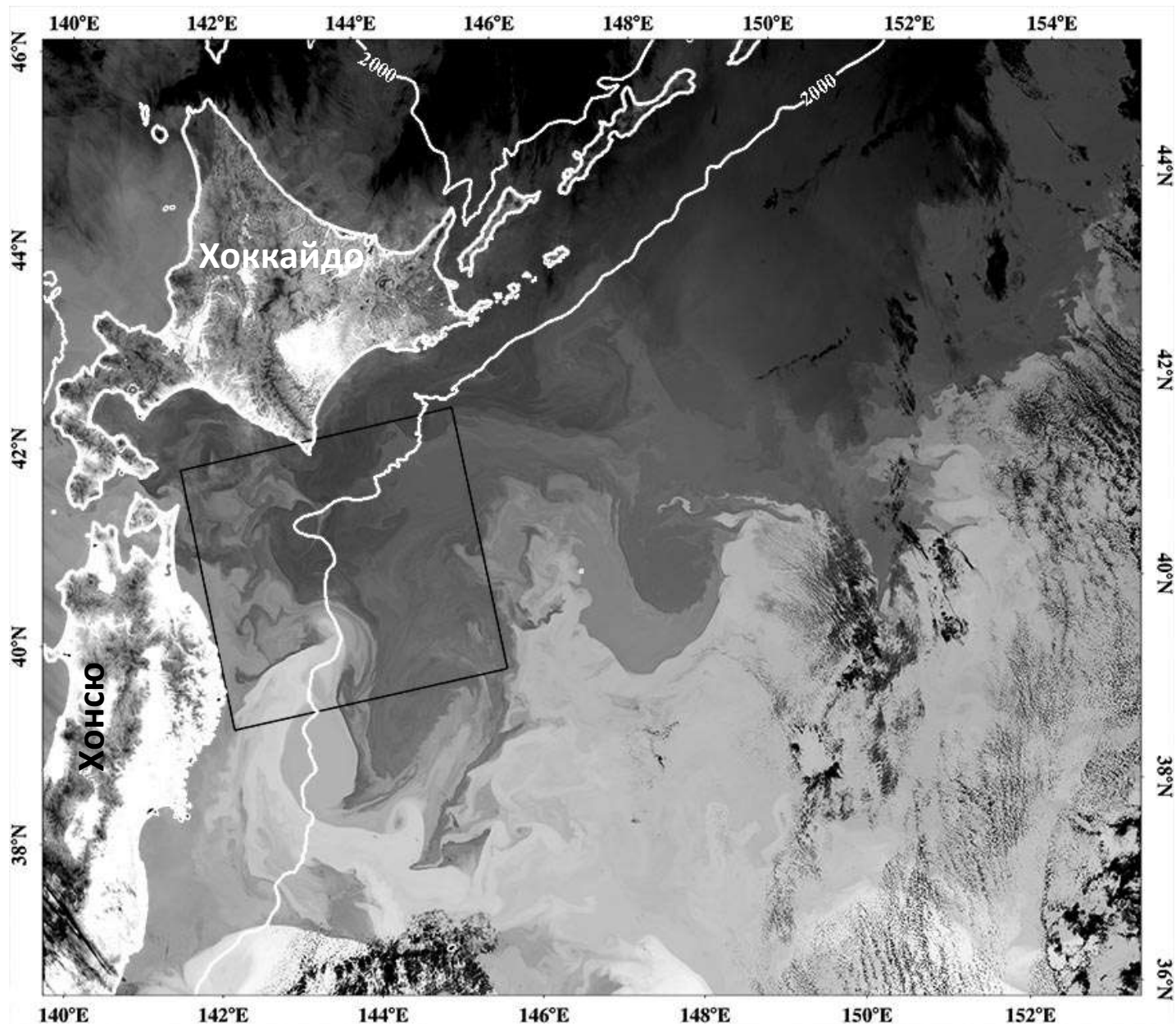
Suomi NPP VIIRS TIR 04 апреля 2017 15:41 Гр.



VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite)

Suomi NPP VIIRS TIR за 5 апреля 2017 03:04 Гр.

Черный прямоугольник отмечает границы изображения PALSAR-2 за 8 апреля



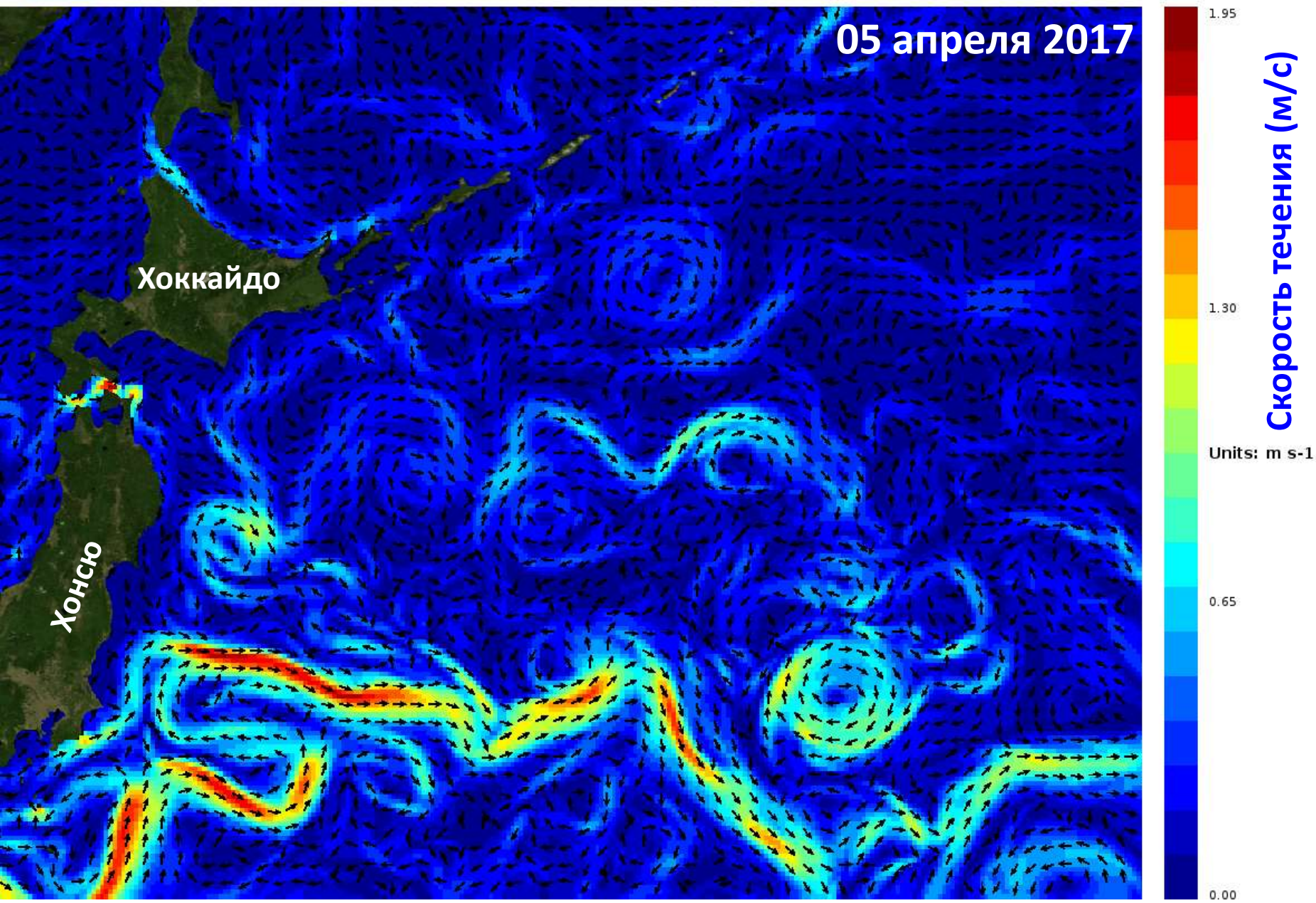


daily mean fields from Global Ocean Physics Analysis and Forecast updated Daily
sea water velocity

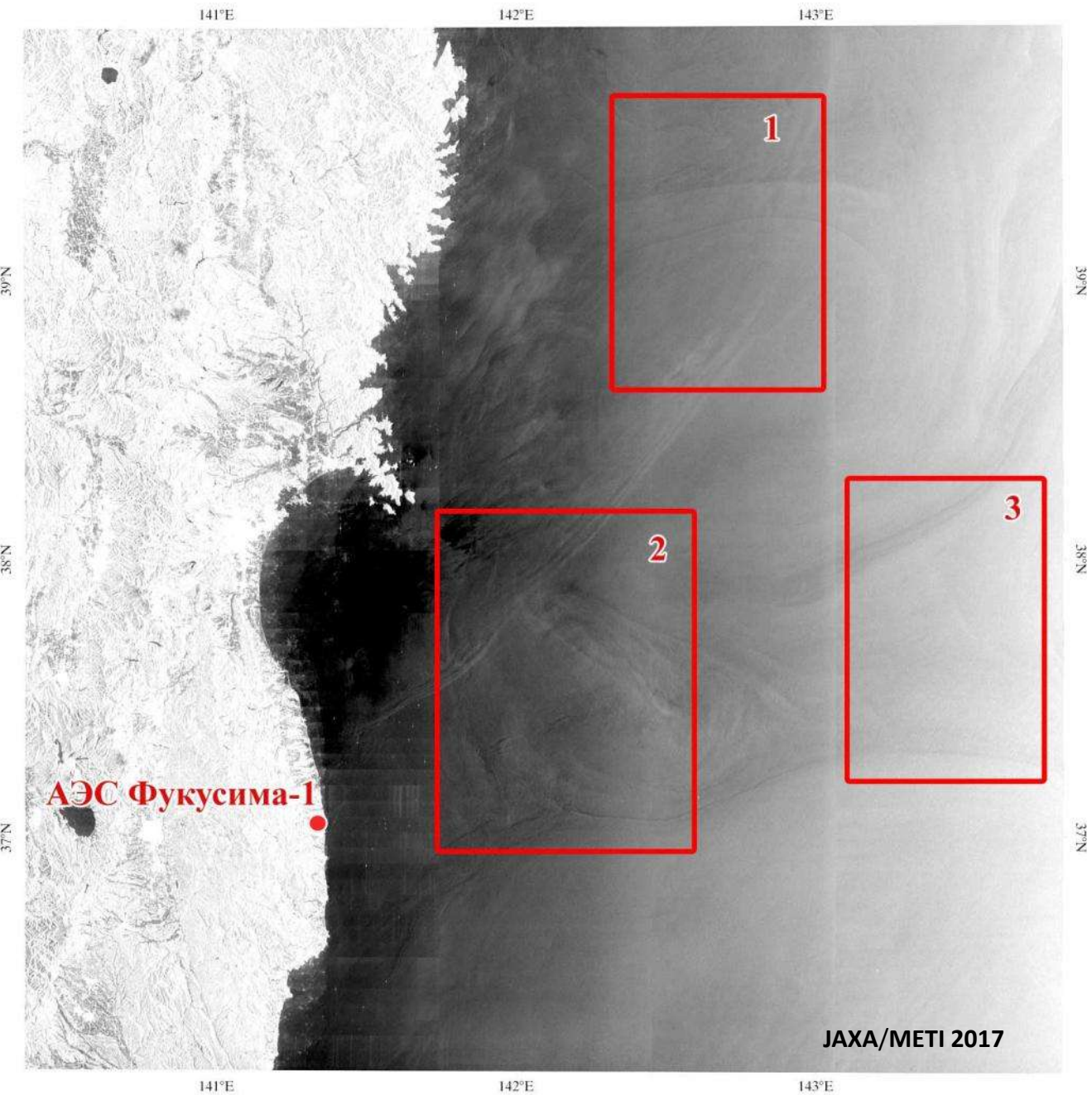
Date: 2017-04-05 12:00 UTC

Depth: 0.49m

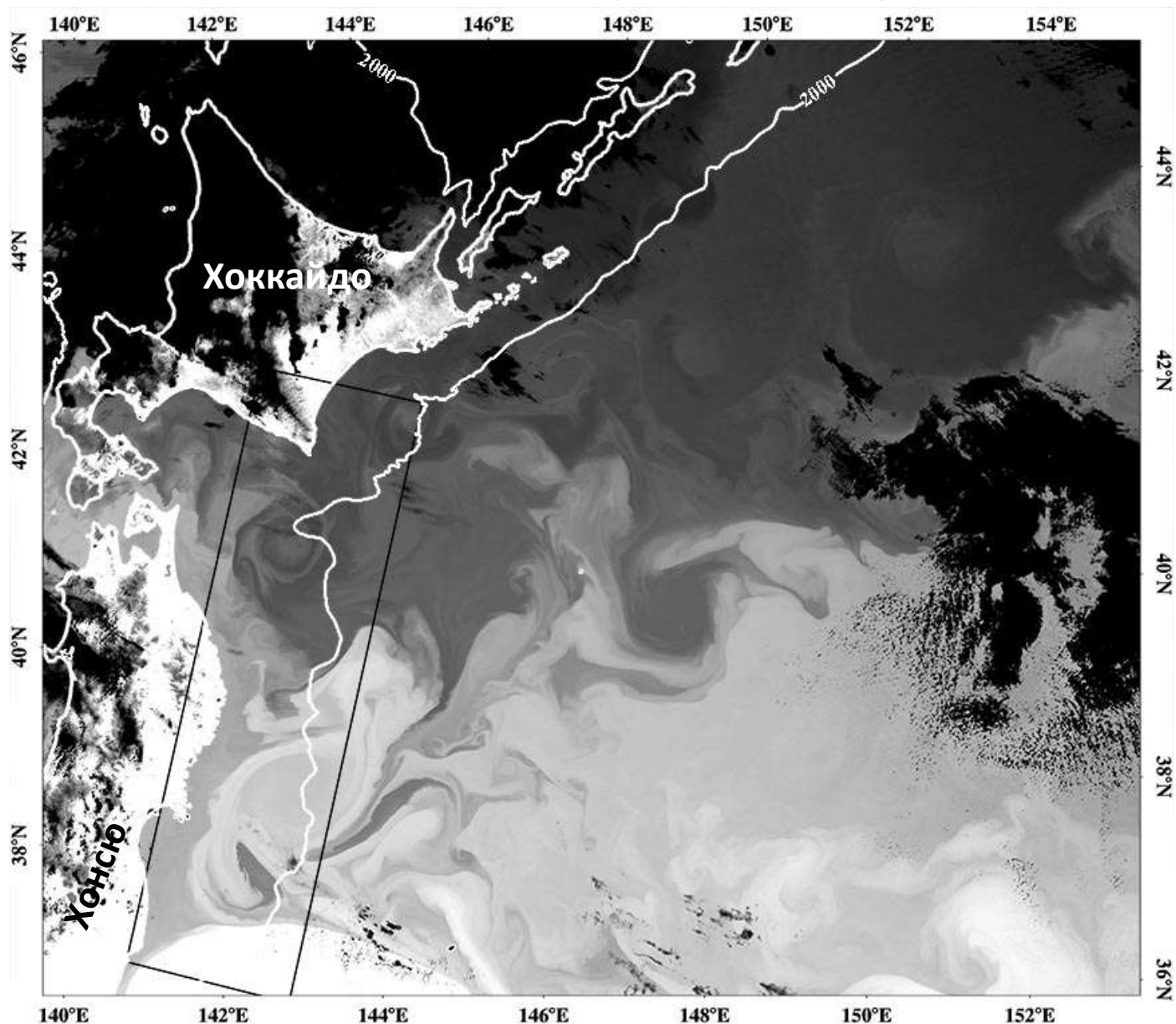
<http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/>



ALOS-2, 14 апреля 2017

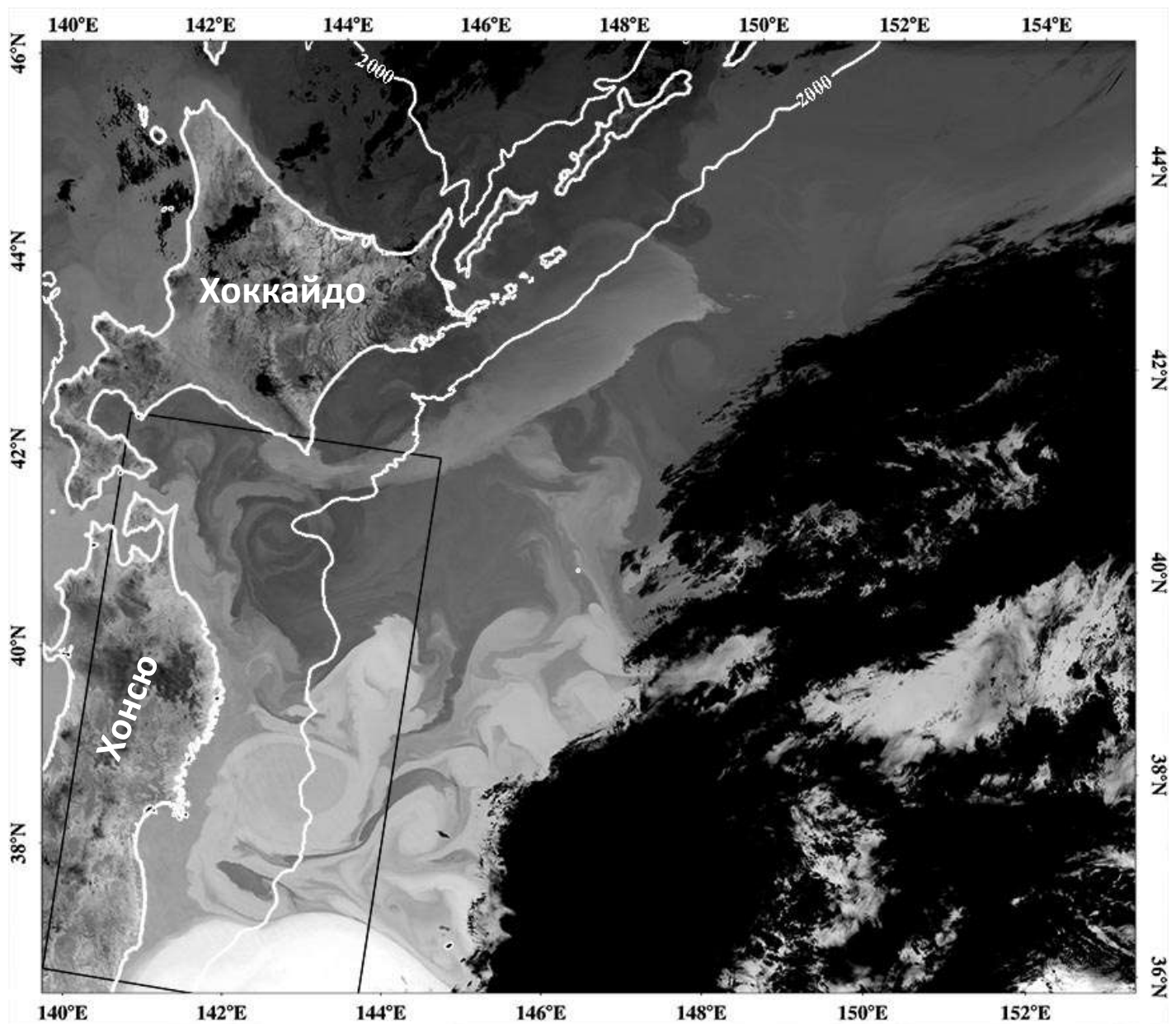


Suomi NPP VIIRS TIR 14 апреля 2017 в 03:34 Гр.
Черный прямоугольник отмечает границы изображения
Landsat-8 за 15 апреля в 01:07 Гр.

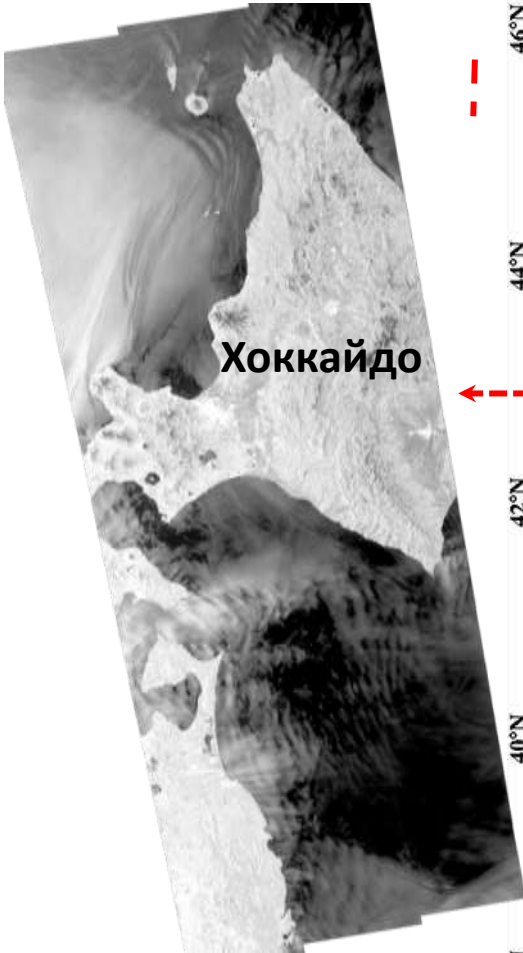


SNPP VIIRS TIR 15 апреля в 15:36 Гр.

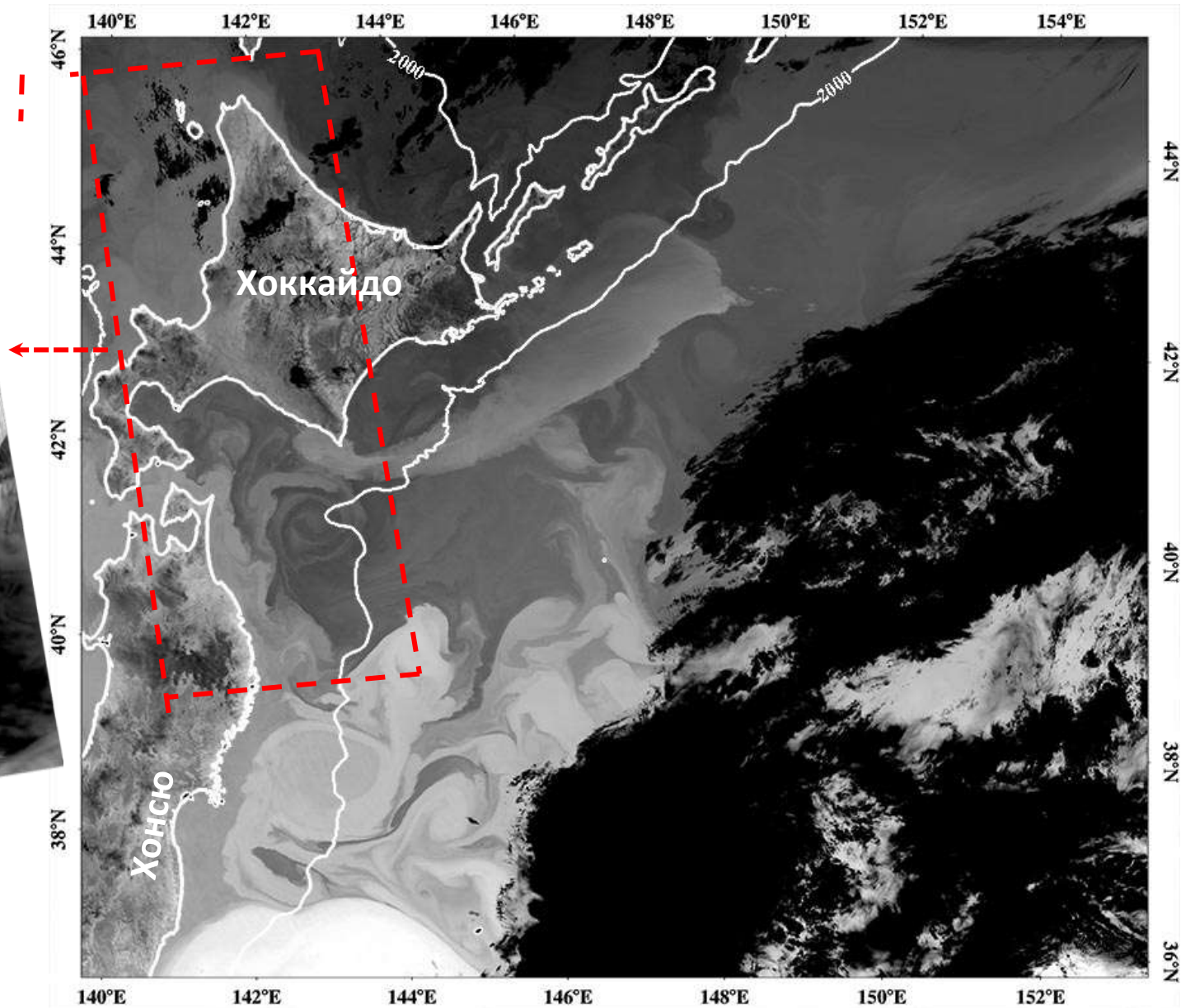
Черный прямоугольник отмечает границы изображения PALSAR-2 в 02:35 Гр.



15 апреля 2017

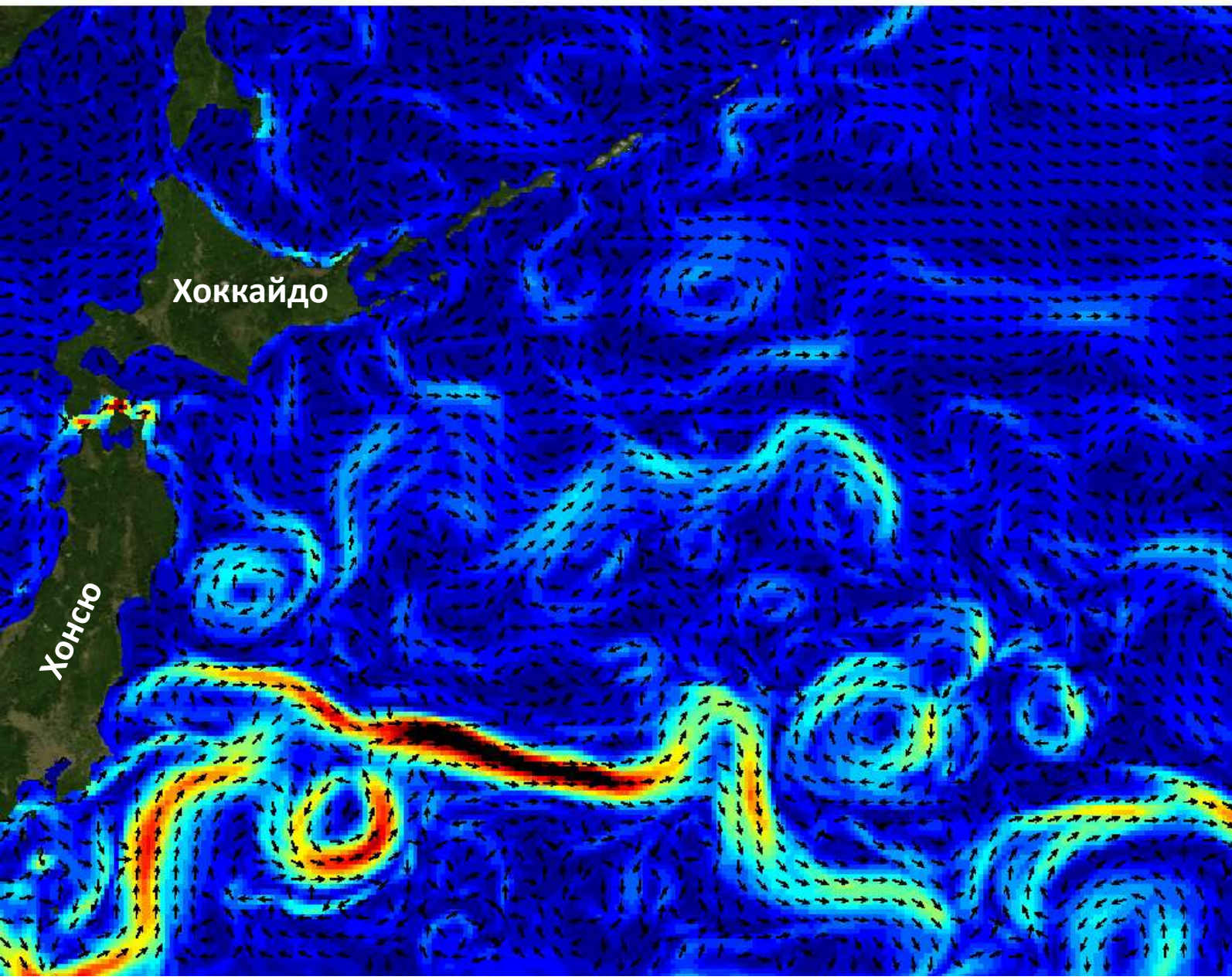


Sentinel-1B
08:25 Гр.



Suomi NPP VIIRS TIR 15:36 Гр.

14 апреля 2017



Хоккайдо

Хонсю



Скорость течения (м/с)

Units: m s-1

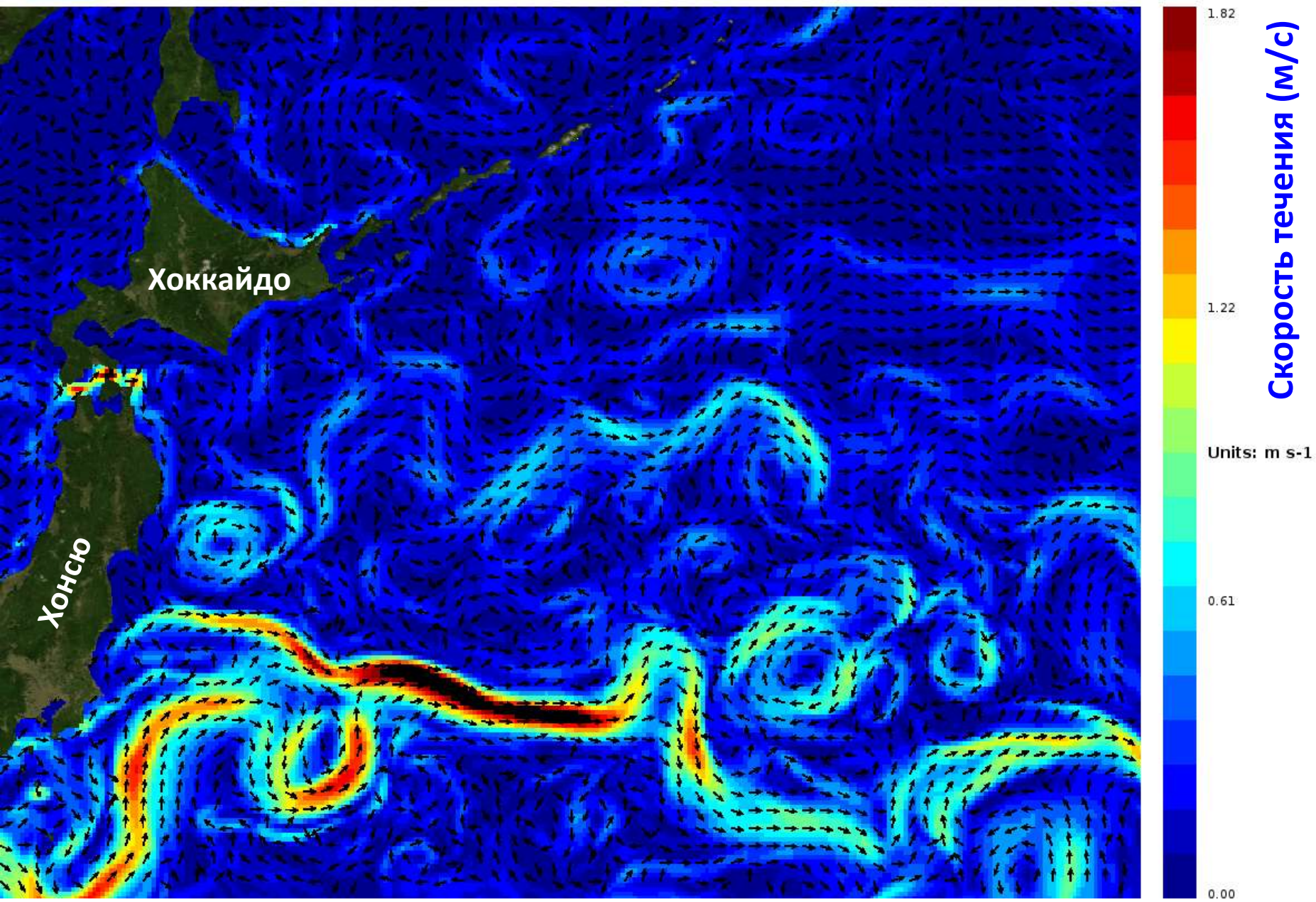


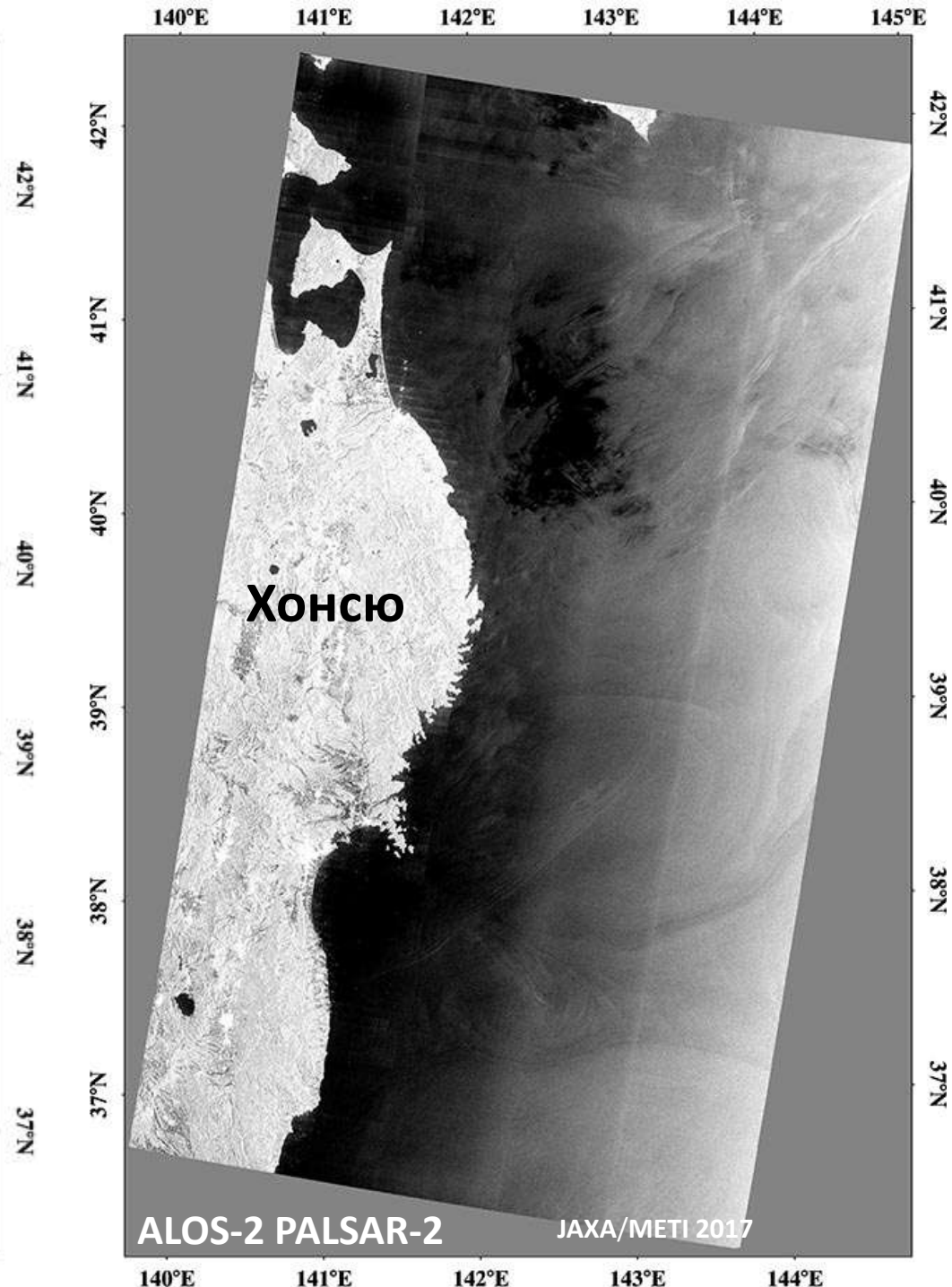
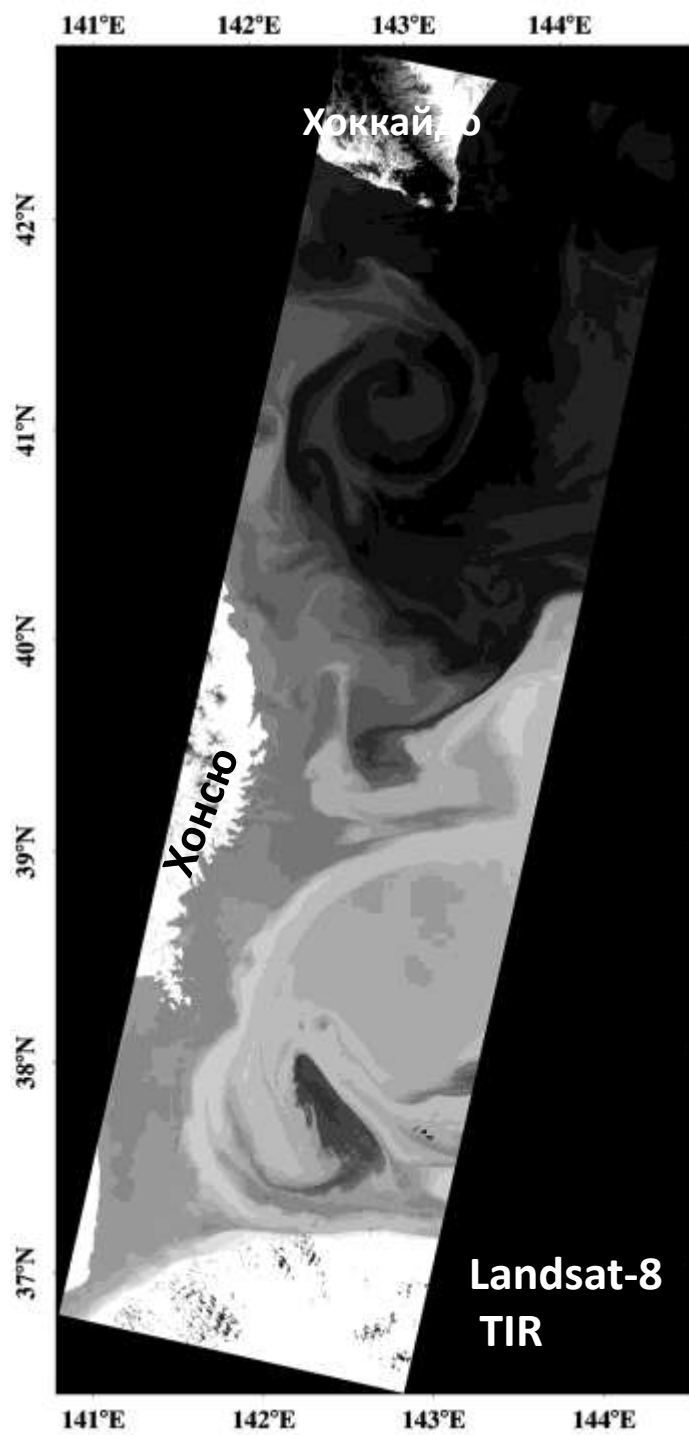
daily mean fields from Global Ocean Physics Analysis and Forecast updated Daily
sea water velocity

Date: 2017-04-15 12:00 UTC

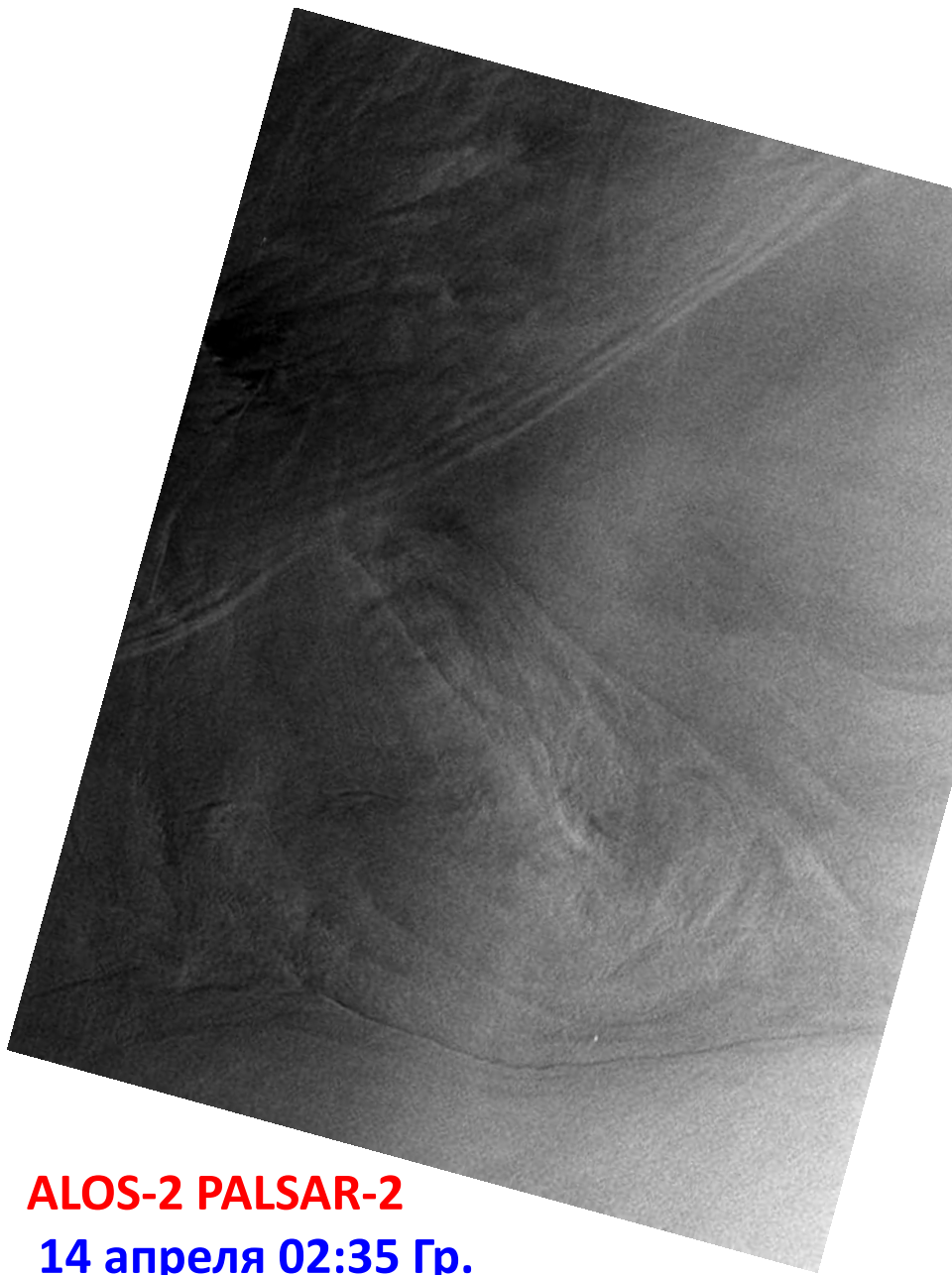
Depth: 0.49m

15 апреля 2017





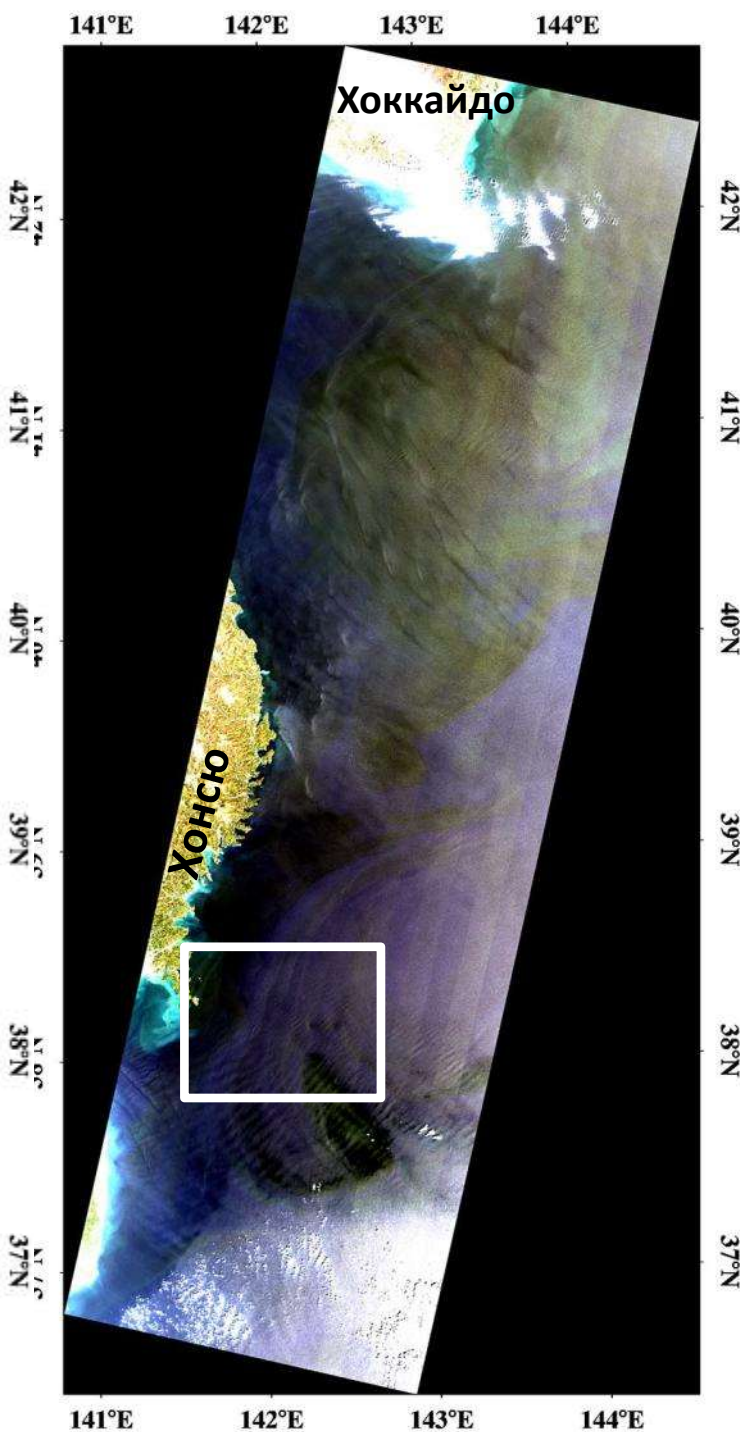
14-15 апреля 2017



ALOS-2 PALSAR-2
14 апреля 02:35 Гр.

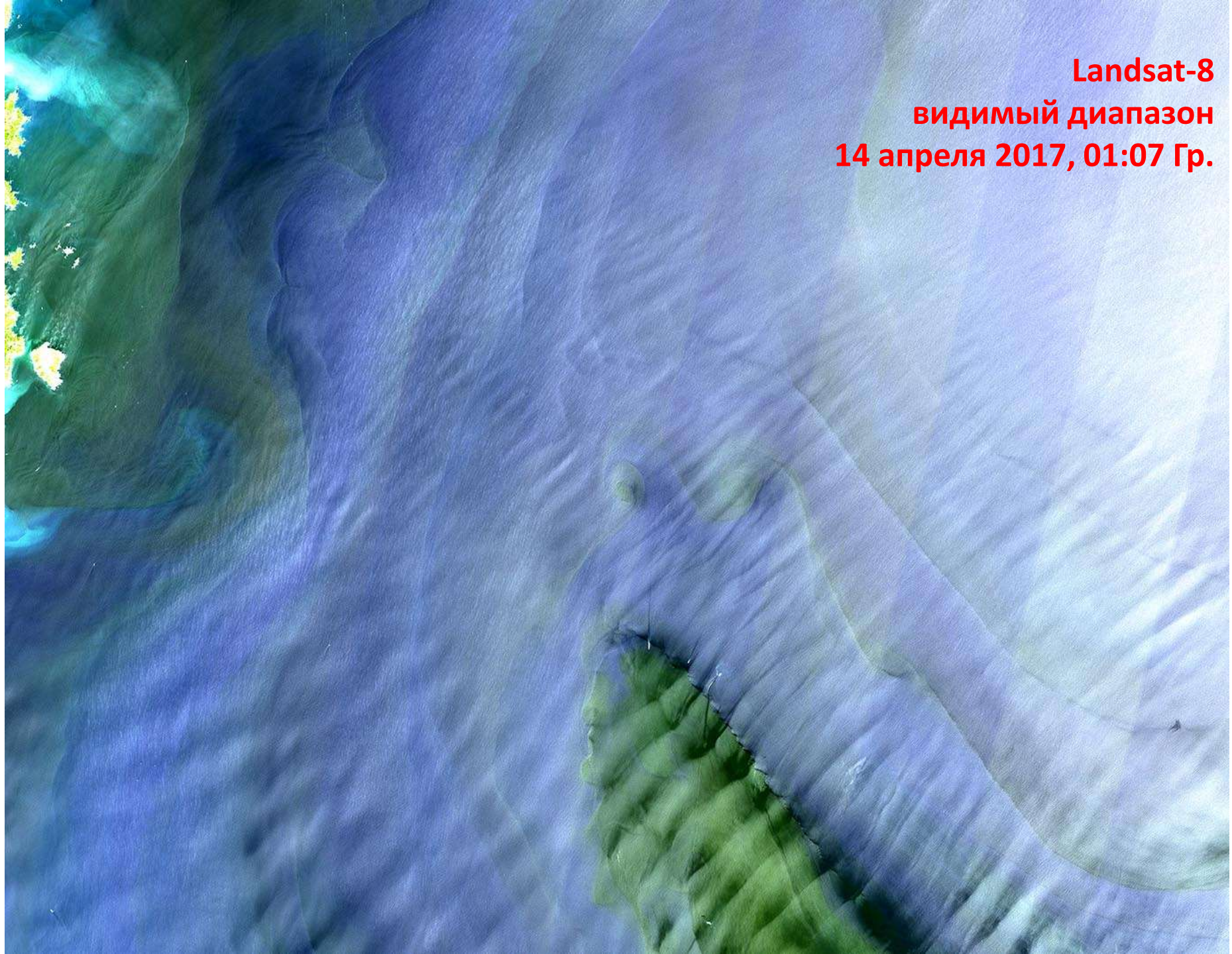


Landsat-8 TIR
15 апреля 01:07 Гр.



Landsat-8
TIR и VIS
14 апреля
2017 01:07 Гр.

Landsat-8
видимый диапазон
14 апреля 2017, 01:07 Гр.

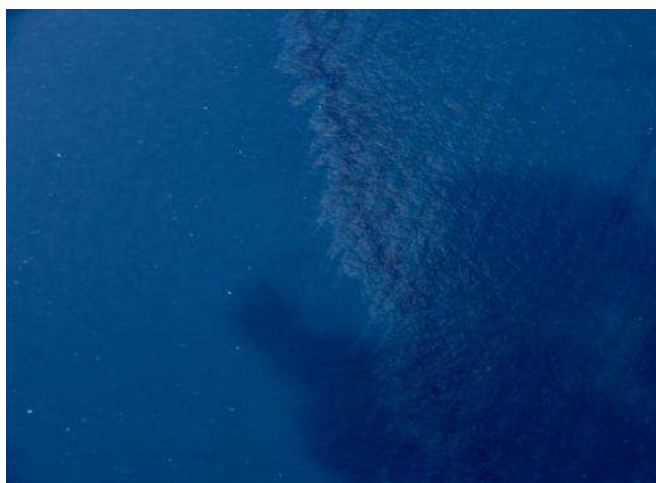


Разлив нефти с танкера Sanchi



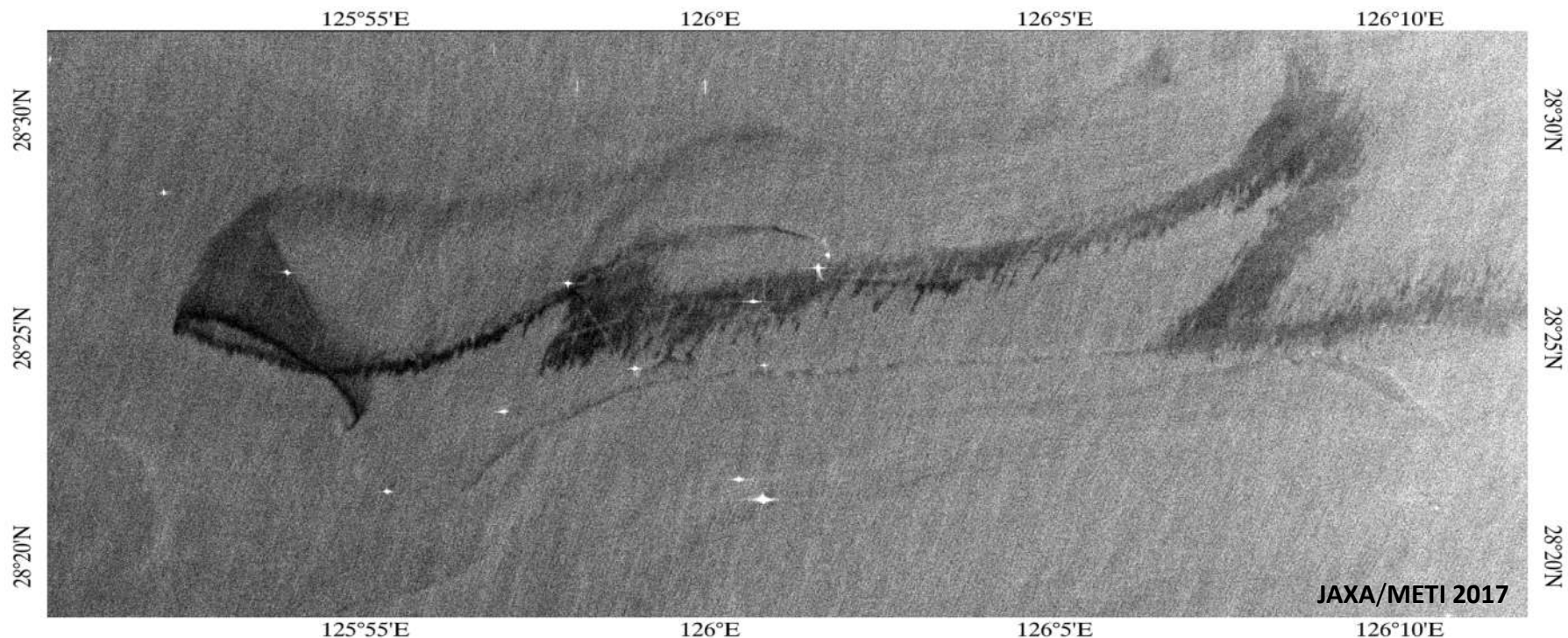


ALOS-2
PALSAR-2
18 января
2018



Нефтяные и биогенные пленки выглядят на изображениях РСА также, как полосы ледяного сала. Поэтому необходим постоянный мониторинг районов добычи и транспортировки нефтепродуктов и рыбопромысловых операций в Охотском и Японском морях. Основа мониторинга - спутниковые РСА, работающие в различных диапазонах длин волн,

Особую важность приобретает разработка методик, позволяющих определить природу зон пониженного РЛ-рассеяния в районах, где может наблюдаться ледяное сало и нефтяное загрязнение

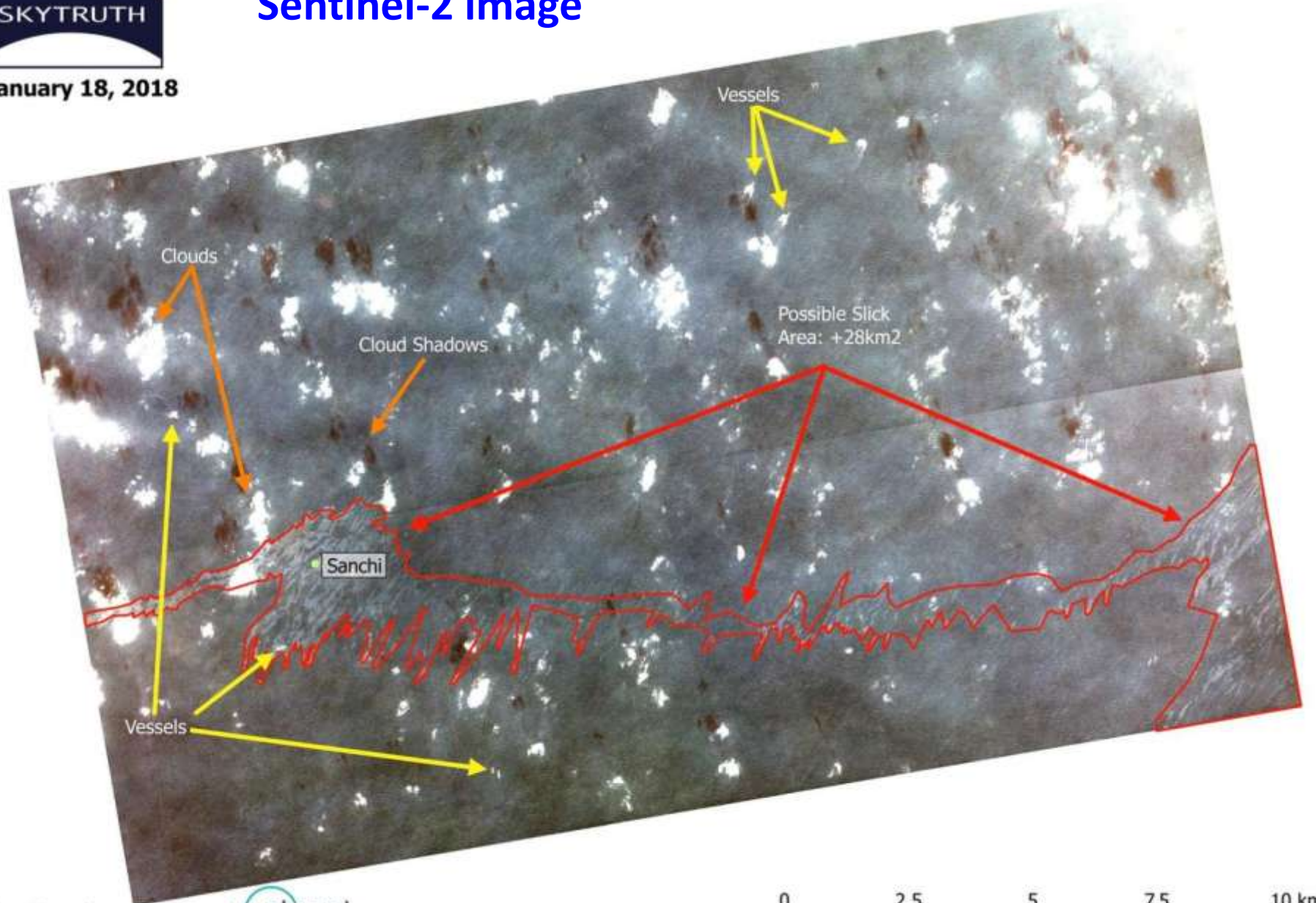


Разливы нефти в Восточно-Китайском море после аварии танкера Sanchi.
ALOS-2 PALSAR-2, ГГ-пол. 18 января 2018 г. в 03:33 Гр.



Sentinel-2 image

January 18, 2018



- На изображениях прибрежных и открытых районов азиатских окраинных морей, зоны взаимодействия Куроисио и Ойясио, Курильских проливов и др., полученных РСА **PALSAR-2** со спутника Японии **ALOS-2**, выявлены и интерпретированы разномасштабные сигнатуры *океанических* (течения, вихри и вихревые цепочки, ветровые и внутренние волны, зыбь, природные и антропогенные пленки, разливы нефти, морской лед и др.) и *атмосферных* (фронты, мезомасштабные конвективные гряды и ячейки, атмосферные гравитационные волны, дождевые ячейки и др.) *явлений*.
- Правильность интерпретации РСА сигнатур возрастает при совместном анализе РЛ изображений с ИК и видимыми изображениями со спутников **Landsat-7 / -8, SNPP, Terra** и **Aqua**, с яркостными температурами в микроволновом диапазоне со спутников **GCOM-W1** и **GPM**, с синоптическими картами, картами подводной топографии и другой сопутствующей информацией.