

Алгоритм оценки приводного ветра по данным AMSR-E и его применение к анализу погодных систем в умеренных и высоких широтах

Майя Львовна Митник и Леонид Моисеевич Митник

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН
690041 Владивосток, ул. Балтийская 43, e-mail: maia@poi.dvo.ru*



Седьмая всероссийская открытая ежегодная конференция
«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»
Москва, ИКИ РАН, 16-20 ноября 2009 г.

Содержание

- Введение
- Влияние ветра на микроволновые излучательные характеристики морской поверхности.
- Усовершенствованный сканирующий микроволновый радиометр **AMSR-E** спутника **Aqua**
- Моделирование яркостных температур системы океан-атмосфера и разработка алгоритма
- Восстановление полей приводного ветра в морских погодных системах
- Поле ветра по данным РСА
- Заключение

Цели

- 1) Моделирование *яркостных температур* $T_{\text{я}}(\nu)$ над океаном на вертикальной (В) и горизонтальной (Г) поляризациях на частотах микроволновых радиометров **AMSR-E** (спутник **Aqua**) и **AMSR** (спутник **ADEOS-II**) при вариациях содержания в атмосфере парообразной и капельной влаги, температуры воды и скорости ветра.
- 2) Разработка алгоритма оценки скорости приводного ветра по значениям $T_{\text{я}}(10\Gamma)$, паросодержания атмосферы и поглощения в облаках $\tau(36)$, найденным по $T_{\text{я}}(24\text{В})$ и $T_{\text{я}}(36\text{В})$.
- 3) Настройка алгоритма с использование полей ветра по данным скаттерометра **QuikSCAT**.
- 4) Применение алгоритма при анализе морских погодных систем над северо-западной частью Тихого океана.

Введение

Приводный ветер – важнейший геофизический параметр.

Вектор ветра используется для оценки напряжения ветра (передачи импульса) и необходим для определения агеострофической (экмановской) составляющей течений в океане. Он, следовательно, связан с атмосферным и океаническим апвеллингом и даунвеллингом, первичной продукцией, дрейфом льда, эволюцией перемешанного слоя и формированием глубинных вод, с крупномасштабными круговоротами и транспортом воды.

Сведения о ветре необходимы для надежных расчетов потоков скрытого и явного тепла, потоков CO_2 and H_2O , для оценки бюджета энергии, влаги и углерода и для изучения подкисления океана.

Ветер у поверхности быстро меняется в пространстве и во времени. Высокая плотность и относительно хорошая точность спутниковых оценок делают их ценным видом данных (особенно для районов, где наземных измерений мало). Сведения о поле ветра важны для прогноза погоды, волнения и штормовых нагонов, изучения прибрежного апвеллинга, тропических возмущений, взаимосвязей океана и атмосферы (волн тропической неустойчивости, океанических фронтов и течений).

Данные о ветре и волнах необходимы для обеспечения безопасности на море.

Оценка ветра по спутниковым МВ измерениям

Получение оперативных данных о ветре с *высоким пространственным и временным разрешением* необходимо для обеспечения транспортных и промысловых операций на море, эксплуатации и строительства нефтяных платформ, уменьшения ущерба от опасных и особо опасных явлений, прогноза развития морских погодных систем.

Альтиметры. Трассовые измерения. Плохое пространственное и временное разрешение. Перспектива: проект **Iridium**. 64 спутника.

Скаттерометры.

QuikSCAT. Глобальные поля ветра дважды в сутки. Полоса обзора 1900 км. Разрешение 25 x 25 км и 12.5 x 12.5 км.

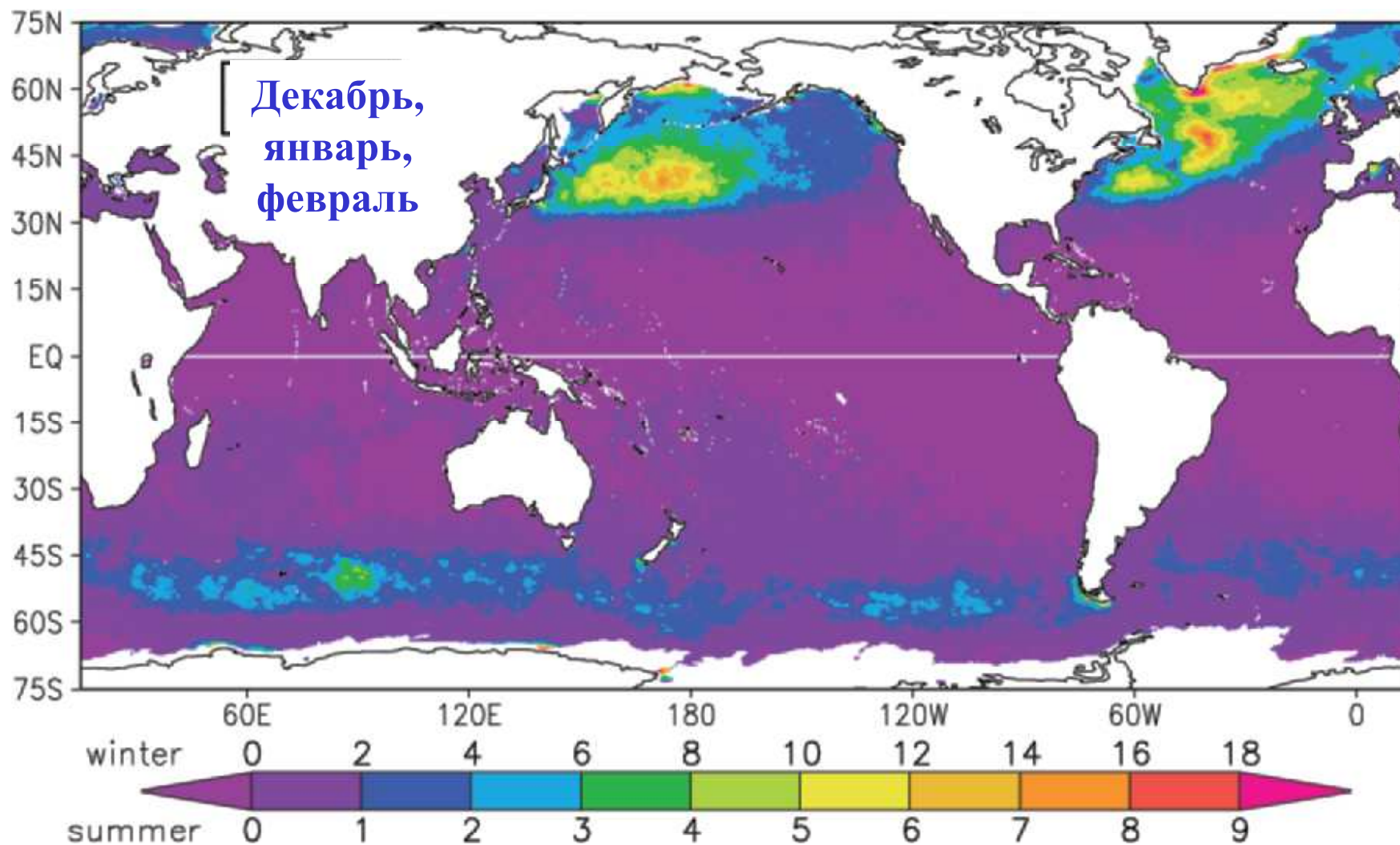
ASCAT - Advanced Scatterometer on the Meteorological Operational (**MetOp**) platform. 2 x 550 км. 50 км x 50 км. При $W > 20$ м/с погрешность оценки растет из-за насыщения зависимости УЭПР от скорости ветра.

Новые скаттерометры: Китай, 2010, **HaiYang-2** – аналогичен **SeaWinds**, Япония, 2012 – **GCOM-W1**, 2015 - **GCOM-W2**; Россия, 2012, **Метеор-М № 3?**

Микроволновые радиометры. **DMSP, Aqua, Windsat.** Широкая полоса обзора. В диапазоне 5-12 ГГц насыщение $Tя(\nu)$ при $W > 20$ м/с отсутствует.

Требуется уточнение зависимостей коэффициентов излучения и $Tя(\nu)$ на различных углах визирования и поляризациях от скорости ветра при изменении устойчивости пограничного слоя атмосферы и ТПО.

Глобальная климатология сильных ветров ($W > 20$ м/с) в декабре-феврале по измерениям скаттерометра *QuikSCAT*.

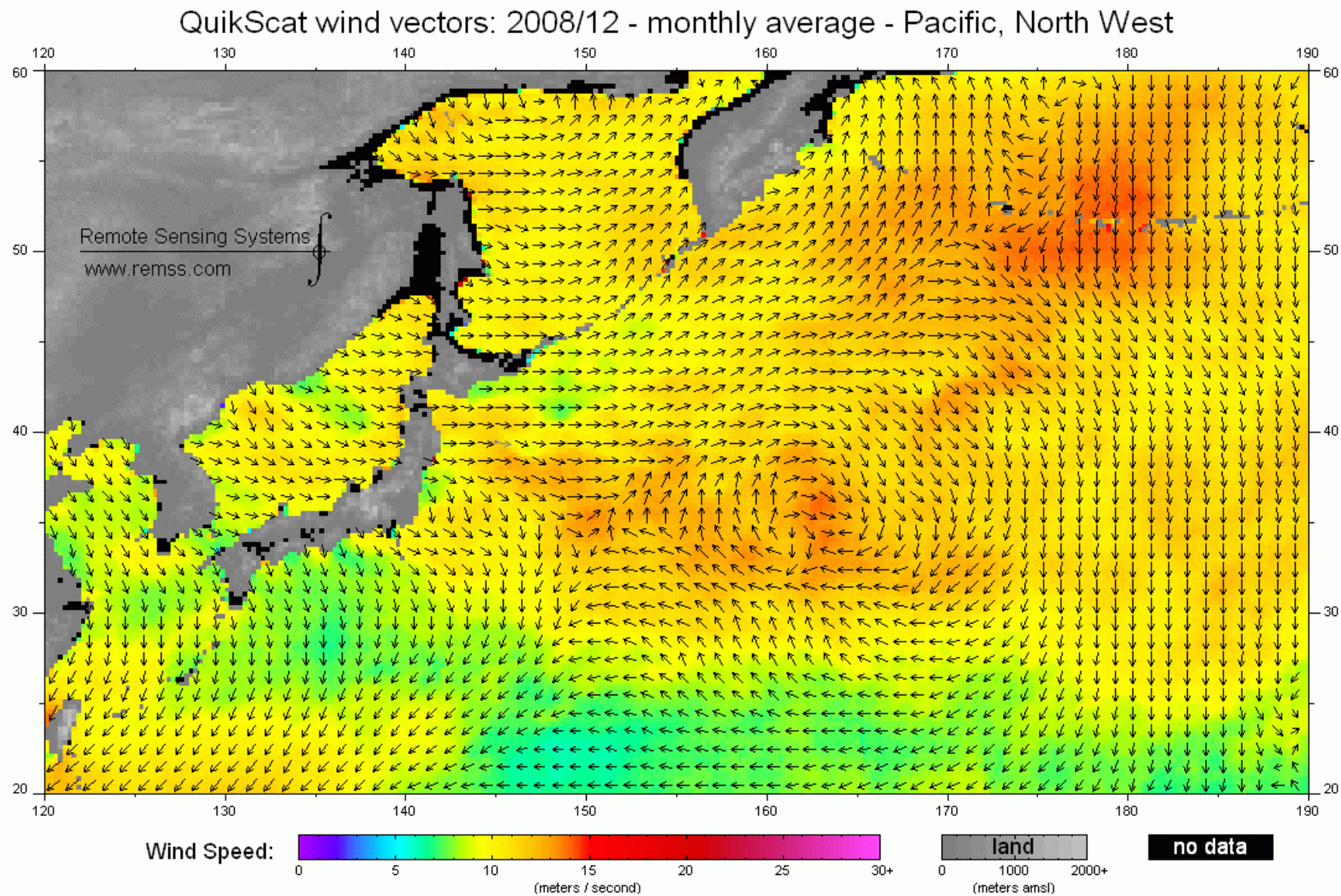


Цифры на цветовой шкале – проценты повторяемости сильных ветров.

Масштаб для северного и южного полушарий отличается в два раза.

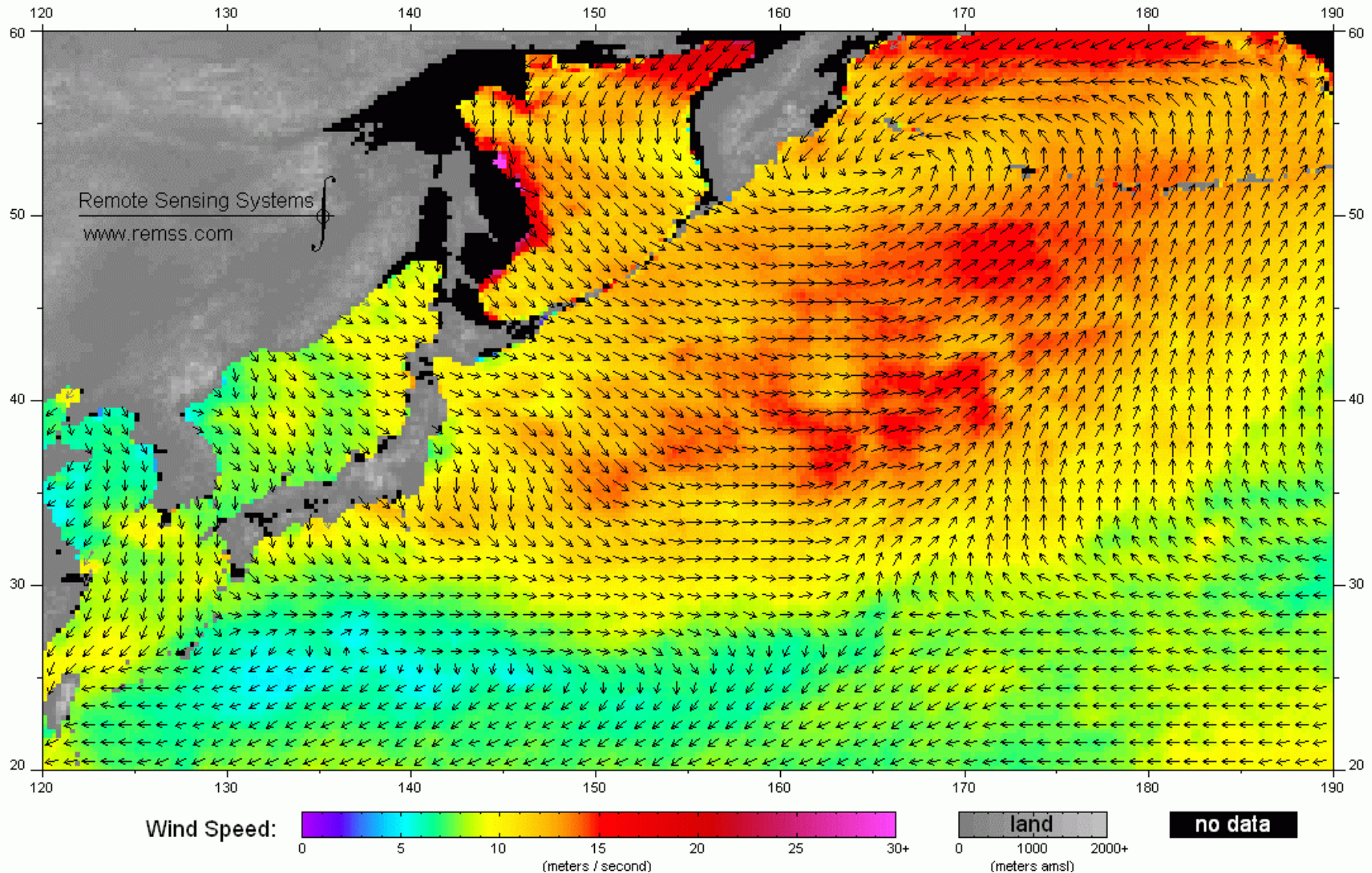
Sampe T., Xie S.-P. Mapping high sea winds from space // *BAMS*. 2007. V. 88, № 12. P. 1965-1978.

Усредненное поле приводного ветра за декабрь 2008 г. Скаттерометр QuikSCAT.



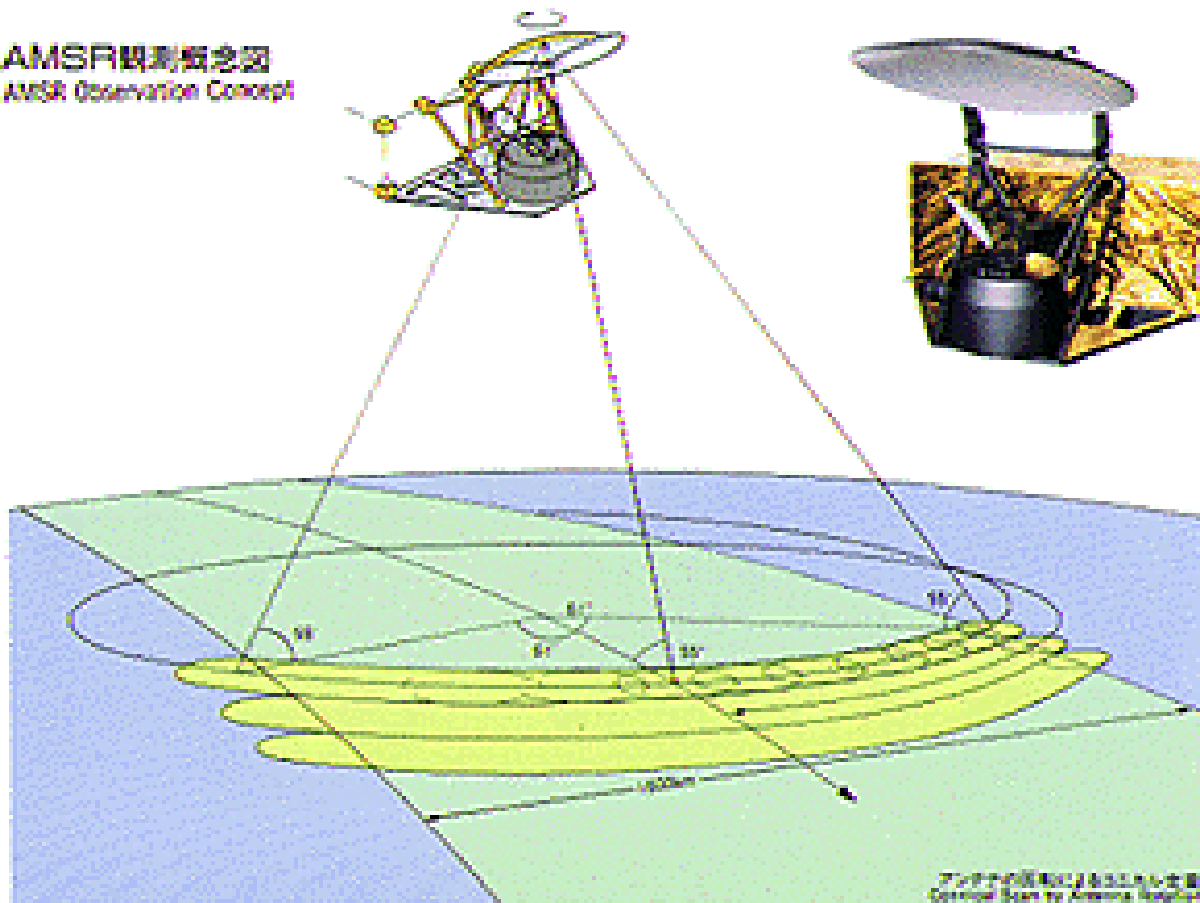
Усредненное поле приводного ветра за февраль 2009 г. Скаттерометр QuikSCAT.

QuikScat wind vectors: 2009/02 - monthly average - Pacific, North West



Микроволновый радиометр **AMSR-E**

AMSR観測概念図
AMSR Observation Concept



Спутник NASA **Aqua** с усовершенствованным микроволновым сканирующим радиометром **AMSR-E** запущен на полярную солнечно-синхронную орбиту 4 мая 2002 г.

Измерения **AMSR-E** используются для восстановления паросодержания атмосферы, водозапаса облаков, интенсивности осадков, *скорости приводного ветра*, температуры поверхности океана, сплошности ледяного покрова, влажности почвы, и др.

Основные характеристики радиометров **AMSR-E** и **AMSR**

AMSR-E - 6-частотный радиометр полной мощности с двумя поляризационными каналами. **AMSR** - 8 частот. Сканирование – коническое. Калибровка на каждом скане по горячей нагрузке (≈ 300 К) и космическому реликтовому излучению (≈ 3 К).



только **AMSR**

Центр. частота, ГГц	6.925	10.65	18.7	23.8	36.5	50.3	52.8	89.0	89.0
								А	В
Ширина полосы, МГц	350	100	200	400	1000	200	400	300	
Поляризация	вертикальная и горизонтальная					вертик.		В и Г	
Ширина луча (ЗдБ)	1.8	1.2	0.65	0.75	0.35	0.25	0.25	0.15	0.15
Разрешение, км x км	40x70	27x46	14x25	17x29	8x14	6x10	6x10	3 x 6	
Размер пикселя, км x км	10 x 10							5 x 5	
Температ. чувствит., К	0.34	0.7	0.7	0.6	0.7	1.8	1.6	1.2	
Угол падения, град.	55.0							54.5	
Динамич. диапазон, К	2.7 - 340								
Полоса обзора, км	Примерно 1600 и 1450								
Цикл сканиров., сек	1.5								

Яркостная температура системы океан-атмосфера

$$T_{\text{Я}}(\nu, \theta) = \kappa(\nu, \theta, W) T_o e^{-\tau(\nu) \sec \theta} + \int_0^H T(h) e^{-\int_h^H \gamma(\nu, h') \sec \theta dh'} \sec \theta dh +$$

$$[1 - \kappa(\nu, \theta, W)] \int_0^{\infty} T(h) \gamma(\nu, h) e^{-\int_0^h \gamma(\nu, h') \sec \theta dh'} \sec \theta dh e^{-\tau(\nu) \sec \theta} +$$

$$[1 - \kappa(\nu, W, \theta)] T_{\kappa}(\nu) e^{-2\tau(\nu) \sec \theta}$$

$T_{\text{Я}}$ – яркостная температура на частоте ν , θ - угол падения,

T_o – термодинамич. температура, а κ - коэф. излучения поверхности моря,

$T(h)$ – температура воздуха на высоте h , H – высота спутника,

$$\tau_o = \int_0^{\infty} \gamma(h) dh \quad \text{- полное поглощение атмосферы,}$$

$\gamma(h)$ – коэффициент поглощения,

$T_{\kappa} = 2.69 + 0.003625\nu$ - реликтовое космич. излуч. на верхней границе ат-ры.

1. Определение паросодержания атмосферы V и поглощения в облаке $\tau_{обл}$ (36) по яркостным температурам $T_{я}$ (24В) и $T_{я}$ (24В) (Митник М.Л., Митник Л.М., *Исслед. Земли из космоса*, 2006, №4. С. 34-41).

2. Расчет поглощения на частоте 10,7 ГГц

$$\tau = \tau_{кисл} + a_1 V + \tau_{обл} (36) b(t_{обл}),$$

$$\text{где } b(t_{обл}) = \tau_{обл} (10.7) / \tau_{обл} (36)$$

Поглощение в кислороде $\tau_{кисл} = 0.01$,
коэффициент $a_1 = 0.0008$ неп/(кг/м²).

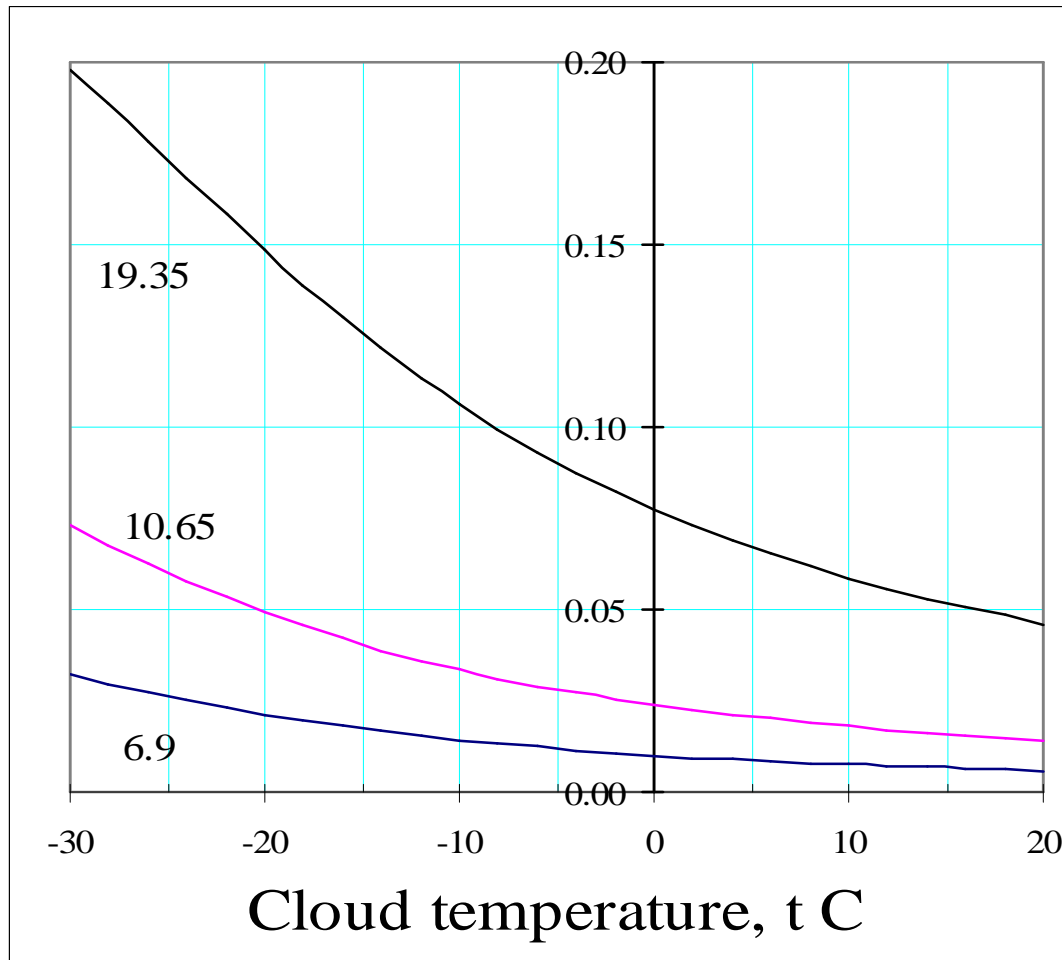
Тем-ра океана $t_{ок}$ известна. Тем-ра облака $t_{обл} = t_{ок} - \Delta T$.
Поглощение в облаке находится по формуле:

$$\gamma_{cl}(\nu) = -0.06283 \cdot I_m \left[\frac{\varepsilon(\nu) - 1}{\varepsilon(\nu) + 2} \right] \omega = 0.1885 \nu \cdot \frac{\varepsilon''(\nu) \omega}{[\varepsilon'(\nu) + 2]^2 + [\varepsilon''(\nu)]^2}$$

$\varepsilon = \varepsilon' + j\varepsilon''$ - комплексная диэлектрическая проницаемость воды,

I_m - мнимая часть, ω - водность облака

Зависимость поглощения в облаке от температуры



Формулы для расчета диэлектрической проницаемости воды взяты из работы

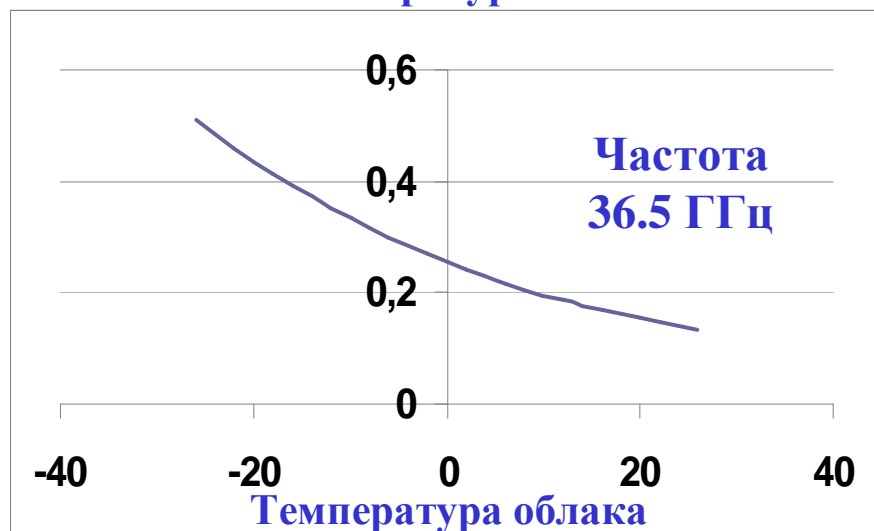
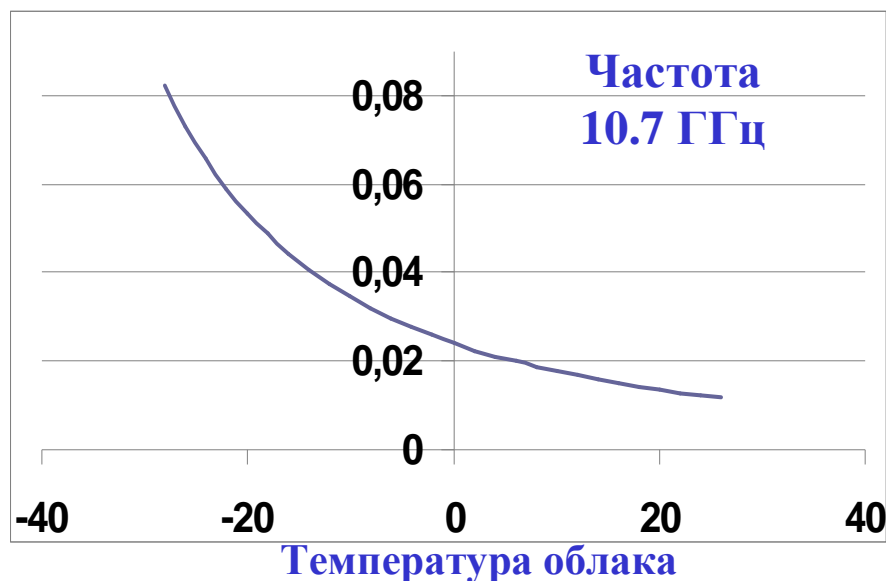
Meissner T., Wentz F. J. The complex dielectric constant of pure and sea water from microwave satellite observations // *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*. 2004. Vol. 42. № 9. P. 1836-1849.

Зависимость $b(t_{обл})$ находится по аппроксимационной формуле

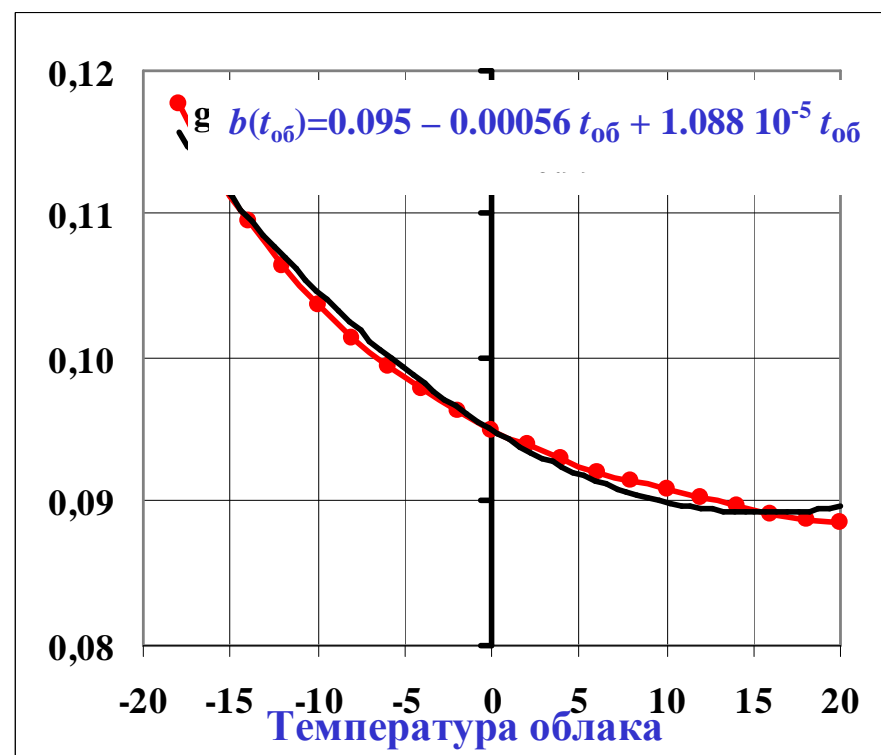
$$b(t_{обл}) = 0.095 - 0.00056 t_{обл} + 1.088 \cdot 10^{-5} t_{обл}^2$$

Водозапас облака $Q = \int \omega(h) dh$

Зависимость коэффициента поглощения в облаках от температуры капелек



Отношение поглощений на частотах 10.7 и 36.5 ГГц



3. Вклад атмосферы в измеряемую на спутнике яркостную температуру при $W = 0$ м/с

$$T_{Яатм(W=0)} = T_{Яатм}^{\uparrow}(55^{\circ}) + T_{Яатм}^{\downarrow}(55^{\circ})[1 - \kappa^{\Gamma}(55^{\circ})]e^{-\tau \sec 55} + T_{\kappa}[1 - \kappa^{\Gamma}(55^{\circ})]e^{-2\tau \sec 55^{\circ}}$$

где $T_{Яатм}^{\uparrow}(55^{\circ}) = (T_{ок} - \Delta T)(1 - e^{-\tau \sec 55})$ и

$$T_{Яатм}^{\downarrow}(55^{\circ}) = (T_{ок} - \Delta T)(1 - e^{-\tau \sec 55})$$

- восходящее и нисходящее излучение атмосферы

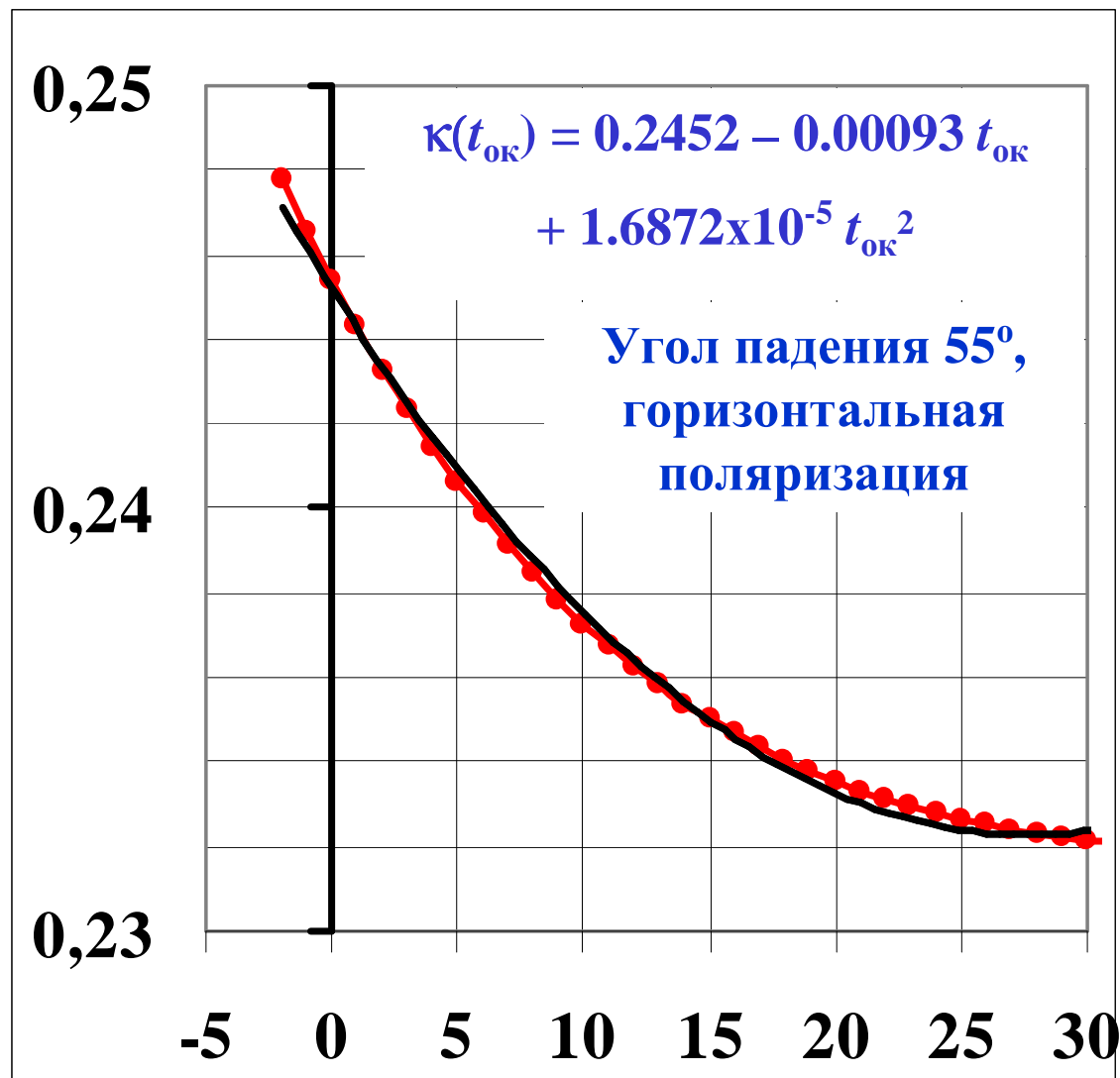
$$T_{\kappa} = 2.73[1 - \kappa^{\Gamma}_{W=0}(55^{\circ})]e^{-2\tau \sec 55} = 1.95K$$

- вклад в $T_{я}$ космического реликтового излучения

$$\kappa^{\Gamma}_{W=0}(55^{\circ})$$

- коэффициент излучения спокойной морской поверхности на частоте 10.7 ГГц на Γ -поляризации под углом 55° .

Зависимость коэффициента излучения гладкой поверхности океана на частоте 10.7 ГГц от температуры



Температура поверхности океана, °C

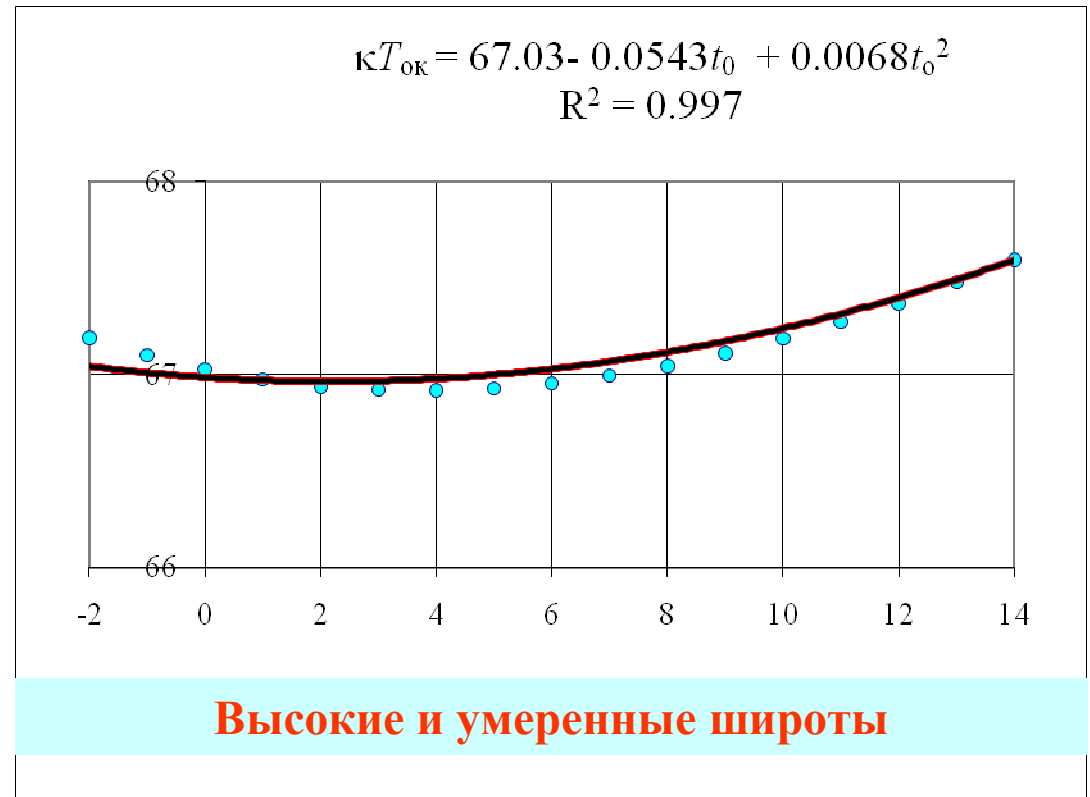
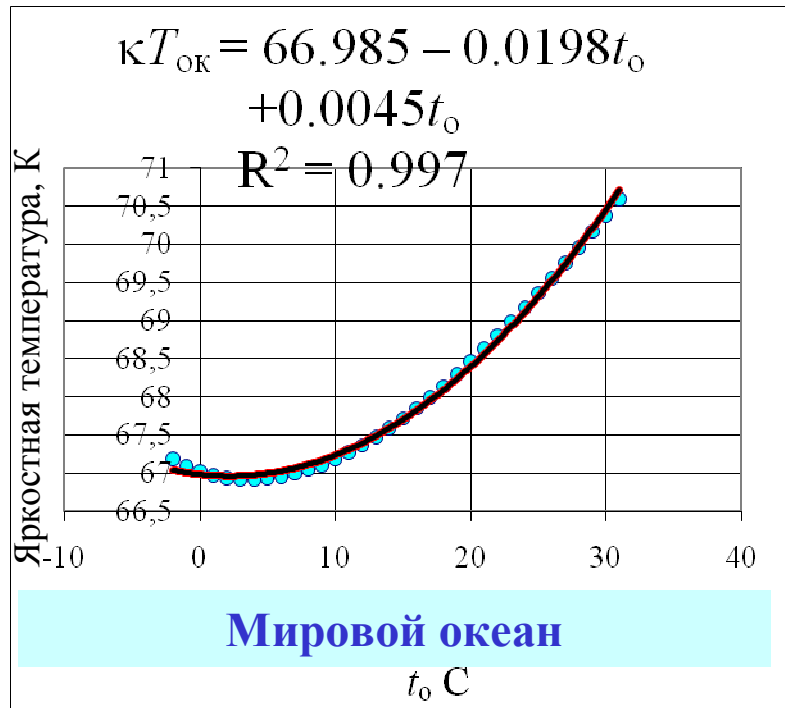
4. Яркостная температура океана

$T_{\text{яок}} = T_{\text{я}} - (T_{\text{яатм}} + T_{\text{к}})$ определяется вычитанием из яркостной температуры системы океан-атмосфера яркостных температур восходящего и нисходящего излучений атмосферы и космического излучения.

$T_{\text{яок}}$ складывается из излучения гладкой поверхности океана и приращения, вызванного действием ветра

$$T_{\text{ок}}(W) = K_{W=0}^{\Gamma} (55) T_{\text{ок}} + \Delta K^{\Gamma} (55) T_{\text{ок}}$$

Яркостная температура океана на частоте 10.7 ГГц на Г- поляризации при штиле



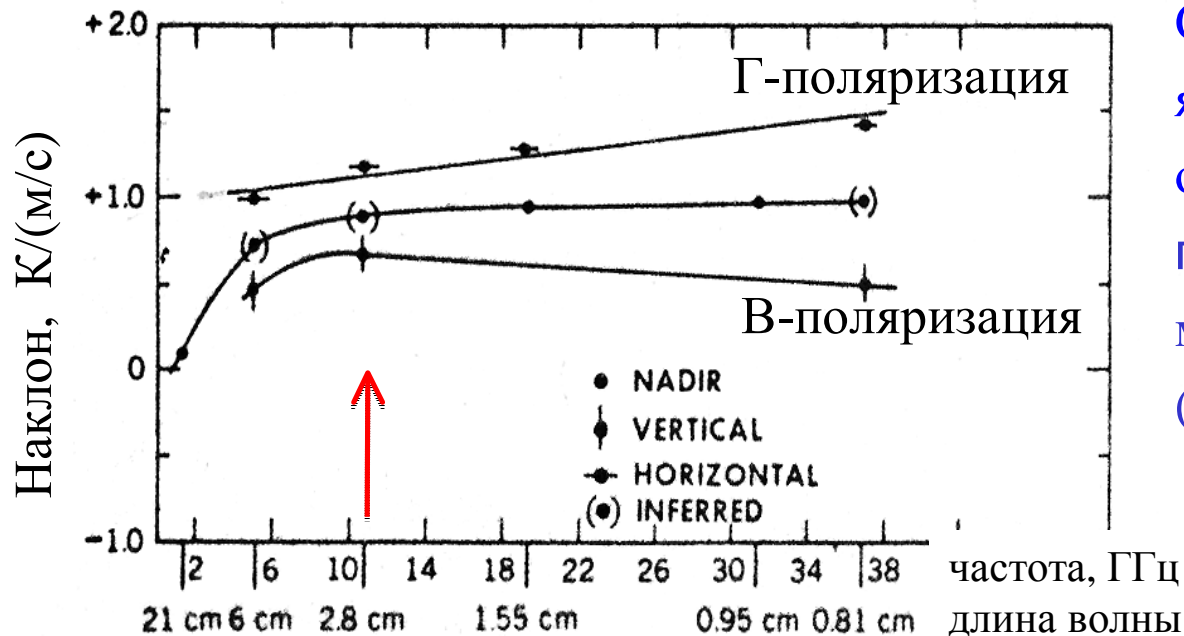
При изменении $t_{\text{ок}}$ от -1.8 до $+12^\circ\text{C}$ изменение $T_{\text{яок}}$ не превышает 0.5 К

$$T_{Я}^{B,\Gamma}(\nu, \theta) = T_{Яокан}^{\Gamma,B}(\nu, \theta)e^{-\tau(\nu, \theta)} + T_{Яатм}^{\uparrow}(\nu, \theta) + T_{Яатм}^{\downarrow}(\nu, \theta)[1 - \kappa^{V,\Gamma}(\nu, \theta)]e^{-\tau(\nu, \theta)} + T_C[1 - \kappa^{B,\Gamma}(\nu, \theta)]e^{-2\tau(\nu, \theta)}$$

$T_{Яок}^{B,\Gamma}(\nu, \theta) = \kappa^{B,\Gamma}(\nu, \theta)T_{ок}$ - яркостная температура океана

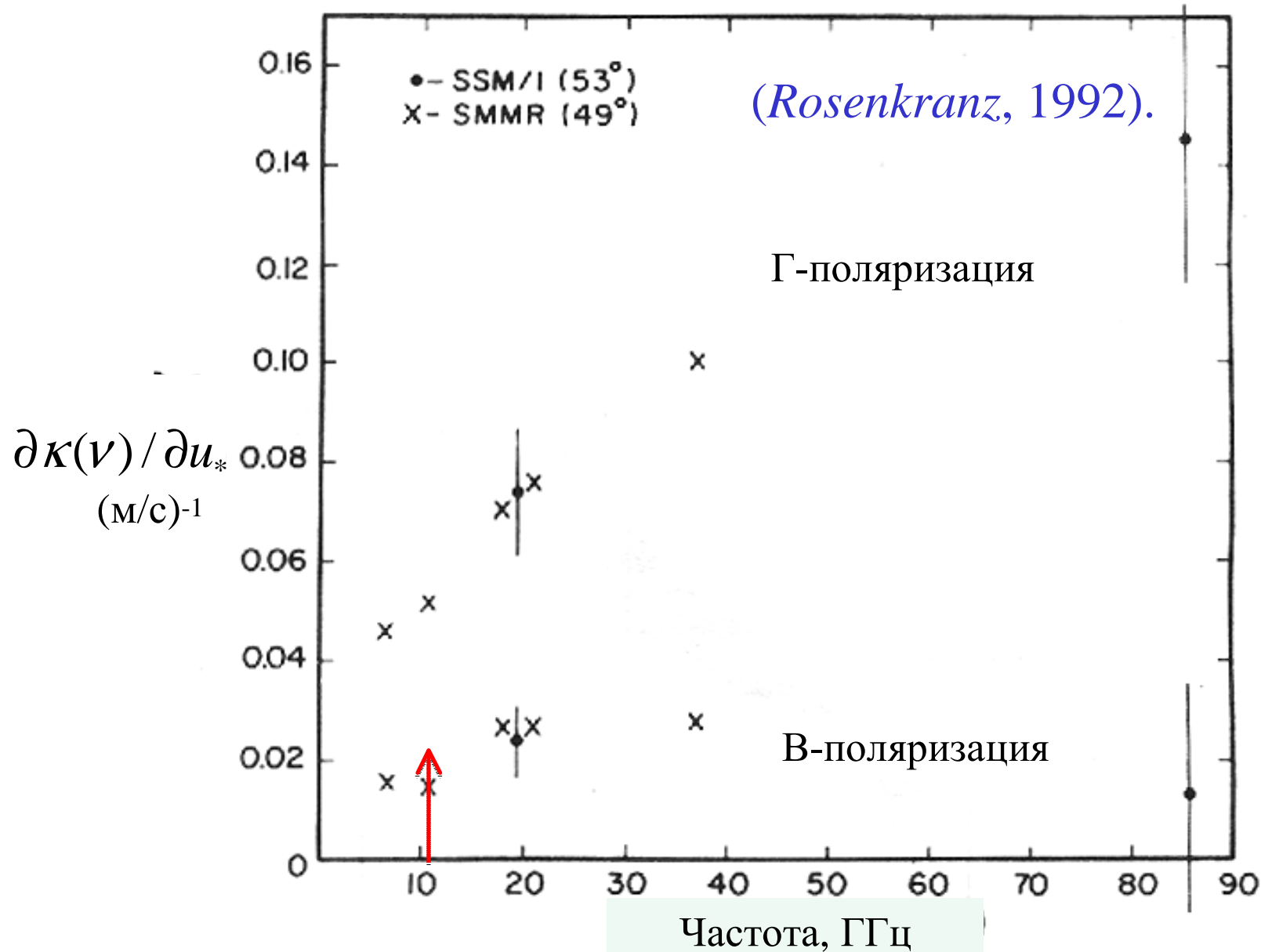
$T_{Яатм}^{\uparrow}(\nu, \theta)$ яркостная температура восходящего излучения атмосферы

$T_{Яатм}^{\downarrow}(\nu, \theta)$ яркостная температура нисходящего излучения атмосферы

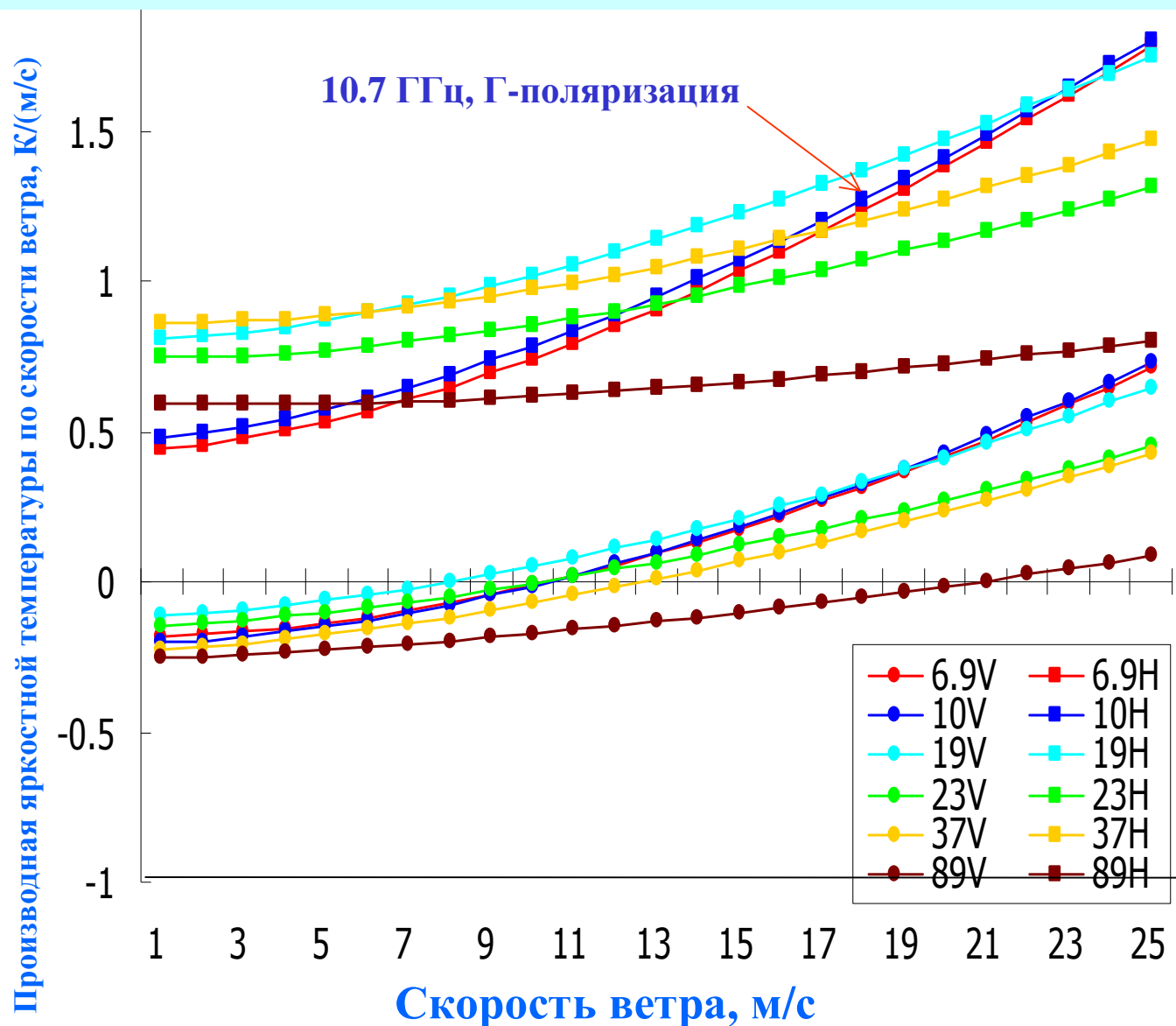


Спектр приращений яркостной температуры океана $T_{Яок}$ на В- и Г-поляризациях в зависимости от скорости ветра (Webster et al., 1976).

Спектр производной коэффициента излучения на В- и Г-поляризациях по скорости ветра



Чувствительность к ветру по модели RTTOV-8 (FASTEM-3)



M. Kazumori. A step toward operational use of AMSR-E horizontal polarized radiance in JMA global data assimilation system
(Joint AMSR Science Team Meeting
14-16 August 2007
Missoula, MT U.S.A.)

Приращение яркостной температуры океана, обусловленное действием ветра

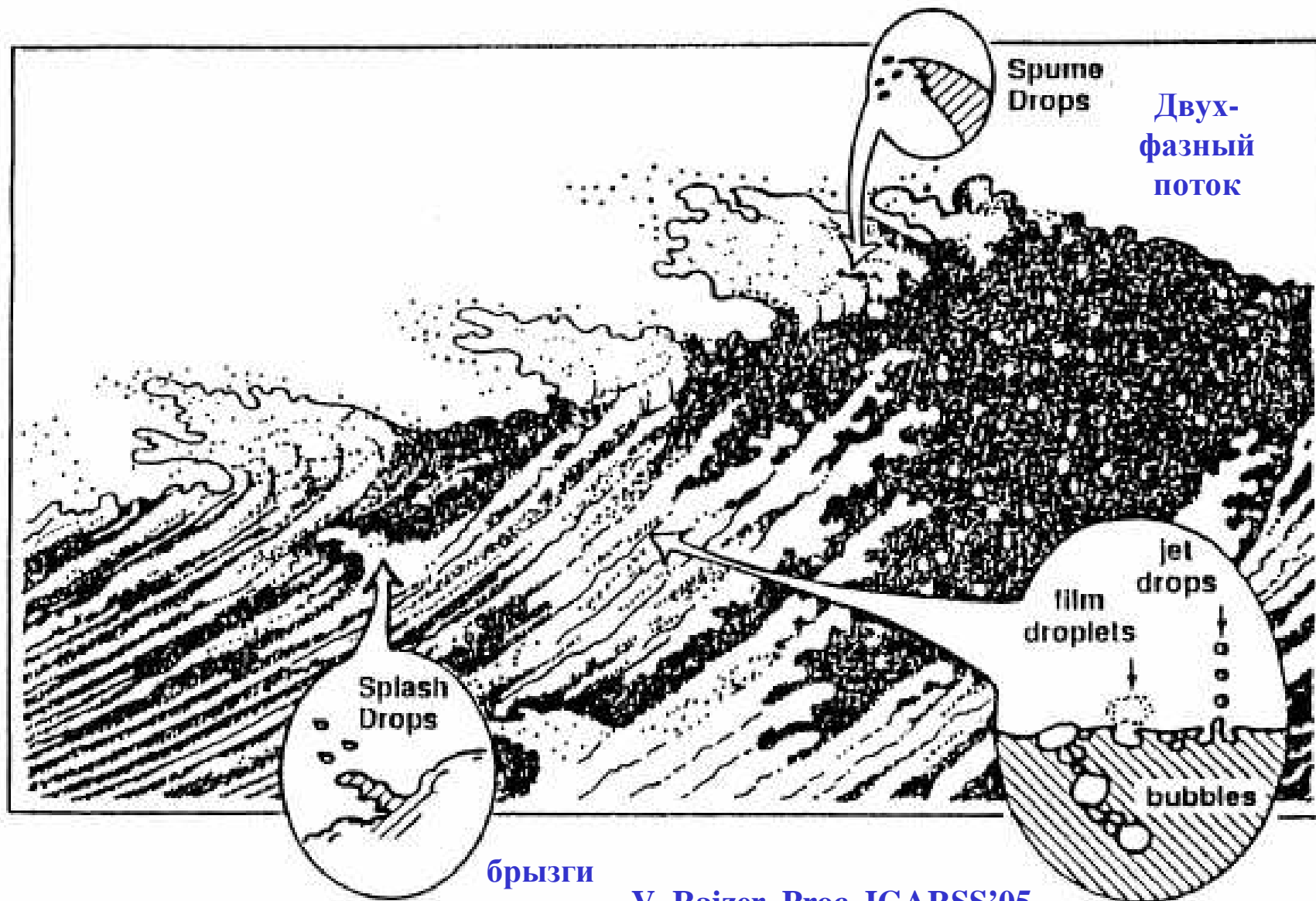
$$\Delta T_{Яок}^{\Gamma}(W) = [T_{Я} - T_{Яатм(W=0)}] e^{\tau \sec 55^{\circ}} = \kappa_{W=0}^{\Gamma} T_{ок} + \Delta \kappa^{\Gamma}(W) T_{ок} - T_{Яатм} \Delta \kappa^{\Gamma}(W) e^{-\tau \sec 55^{\circ}}$$

Приращение коэффициента излучения океана,
обусловленное действием ветра – проверить!

$$\Delta \kappa^{\Gamma}(W) = \frac{\Delta T_{Яок} e^{\tau \sec 55^{\circ}} - \kappa_{W=0}^{\Gamma} T_{ок}}{T_{ок} - T_{Яатм} e^{-\tau \sec 55^{\circ}}}$$

$$Q = \int \omega(h) dh$$

Классификация океанической дисперсной среды для дистанционного зондирования





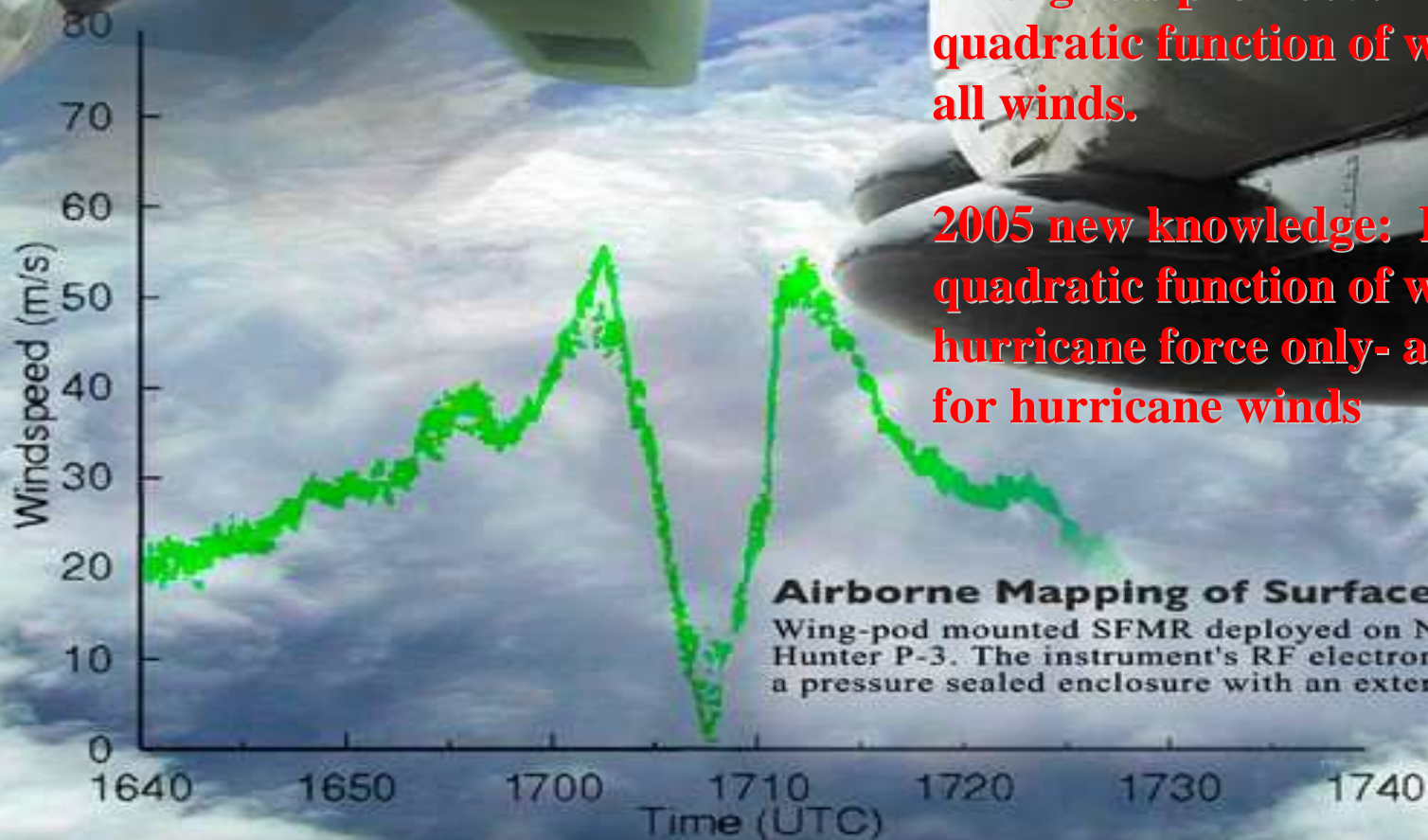
STEPPED FREQUENCY MICROWAVE RADIOMETER

Impacts National Hurricane Center forecast during the 2004 hurricane season

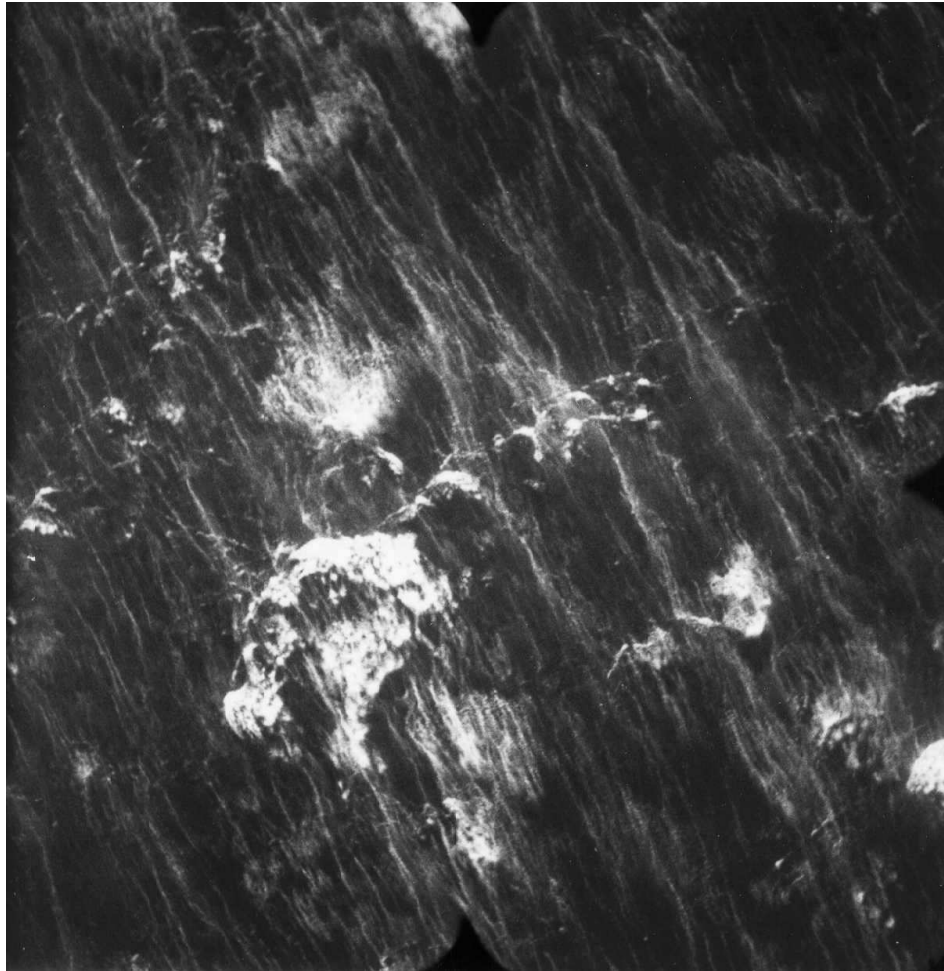
SFMR measures C-band microwave emission from foam (air bubbles in the ocean)

First guess pre-2005: Emissivity a quadratic function of wind speed for all winds.

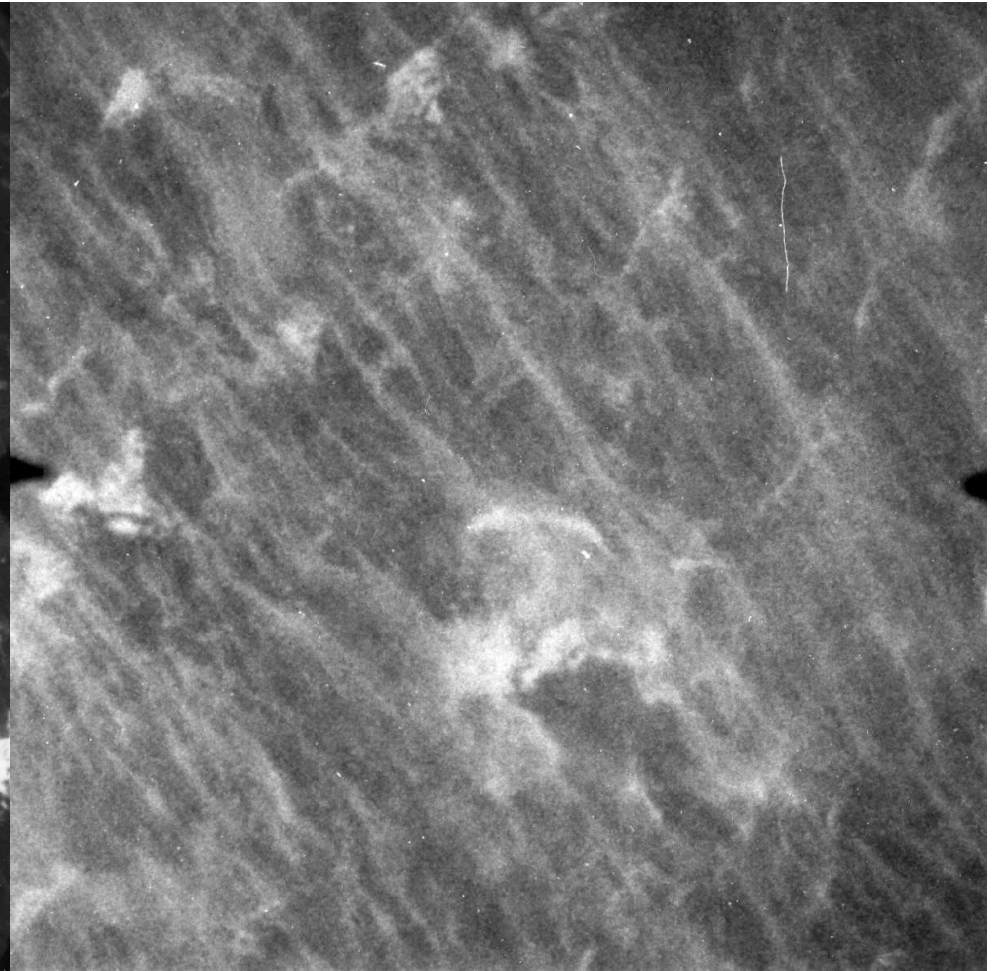
2005 new knowledge: Emissivity a quadratic function of wind up to hurricane force only- a linear function for hurricane winds



Обрушение волн: барашки и полосы пены в урагане

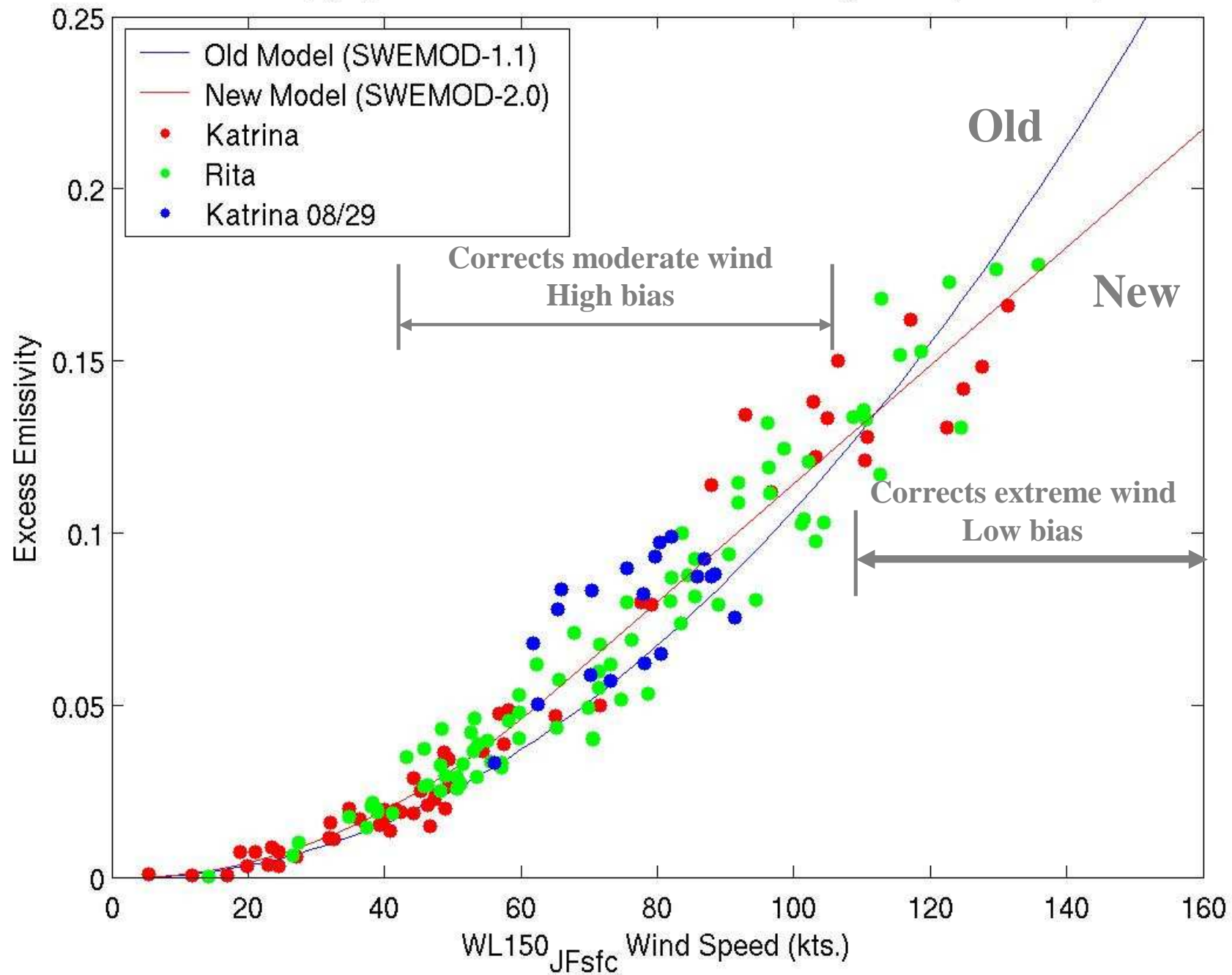


200 m
Wind speed ~28m/s



200 m
Wind Speed ~ 46 m/s

Sfc. Adj. (JF) WL150-Based SFMR Wind/Emissivity Model (SWEMOD)



New SFMR Wind/Emissivity Model Function

$$\begin{aligned}\Delta e_w &= c_0 + c_1(w - w_b) + c_2(w - w_b)^2, & w \leq w_b \\ &= c_0 + c_1(w - w_b), & w > w_b\end{aligned}$$

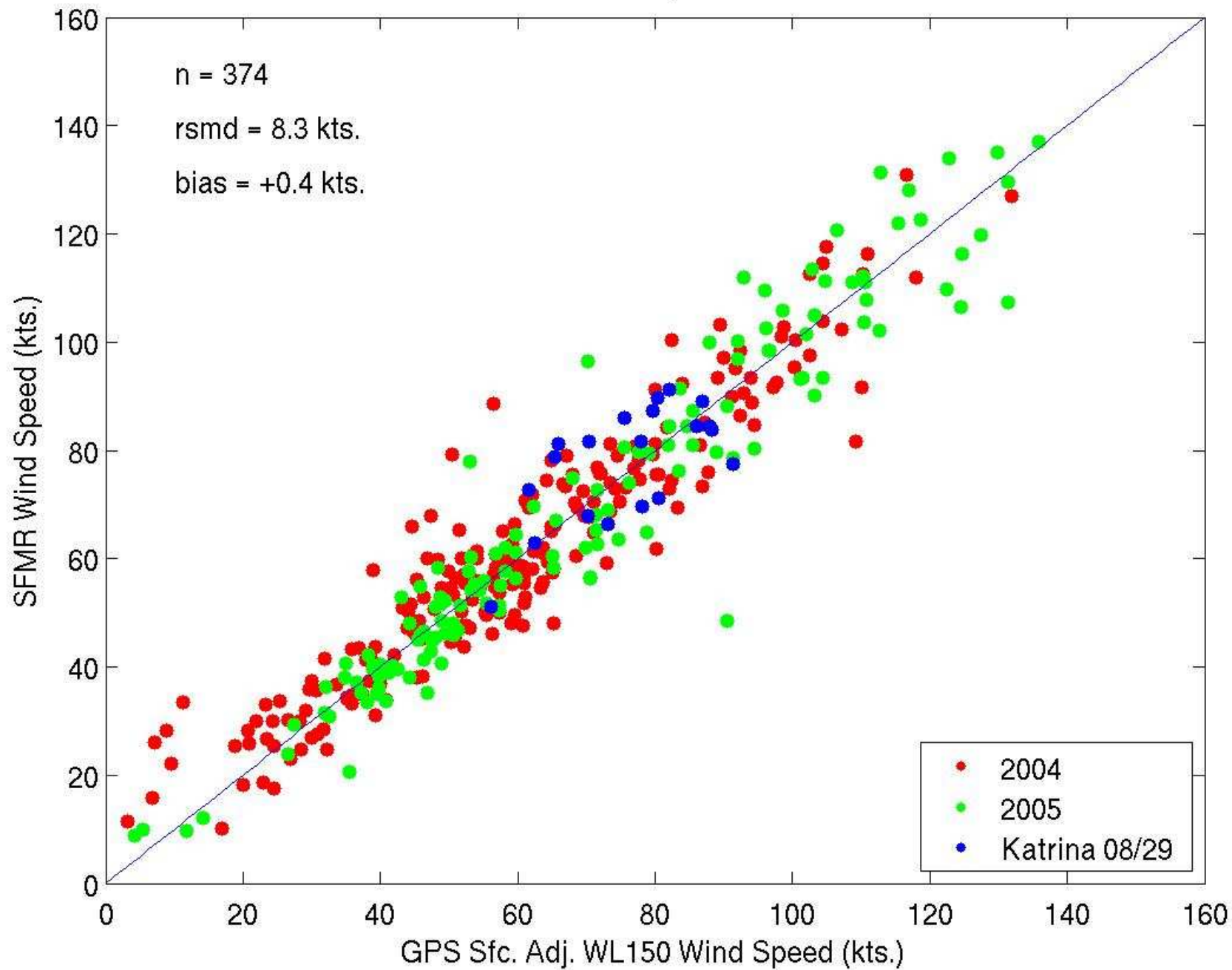
$$w_b = 33.2 \text{ m/s}$$

$$c_0 = 5.3058 \cdot 10^{-2}$$

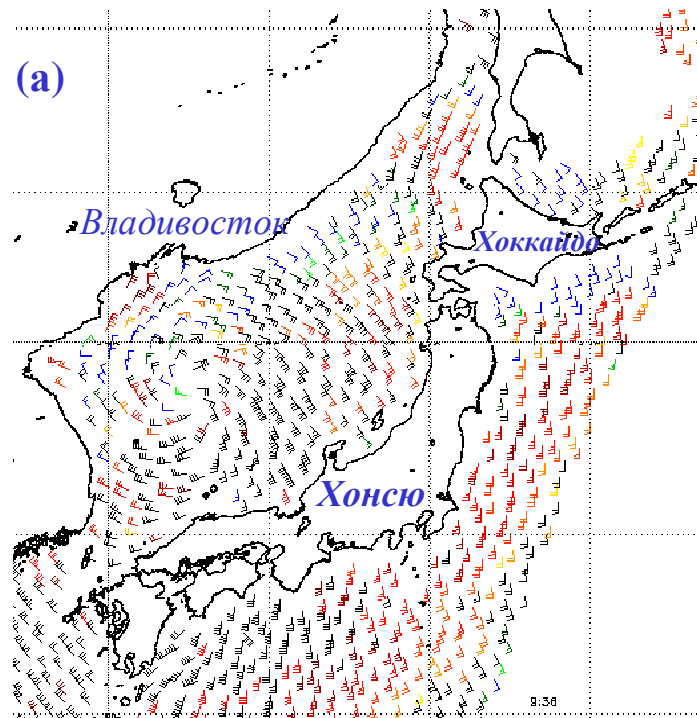
$$c_1 = 3.3313 \cdot 10^{-3}$$

$$c_2 = 5.22101 \cdot 10^{-5}$$

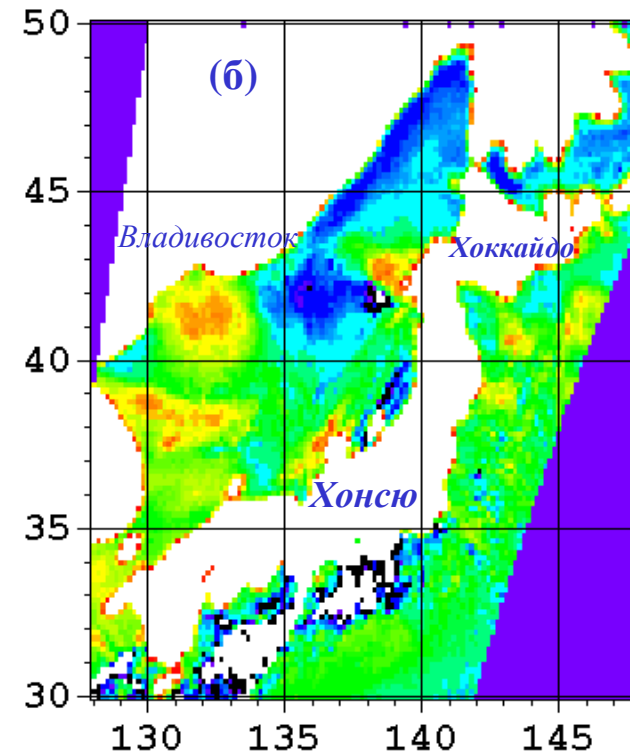
SFMR/GPS 2004/2005 Comparisons -- SWEMOD-2.0



Зимние погодные системы над северо-западной частью Тихого океана



Скорость ветра, узлы

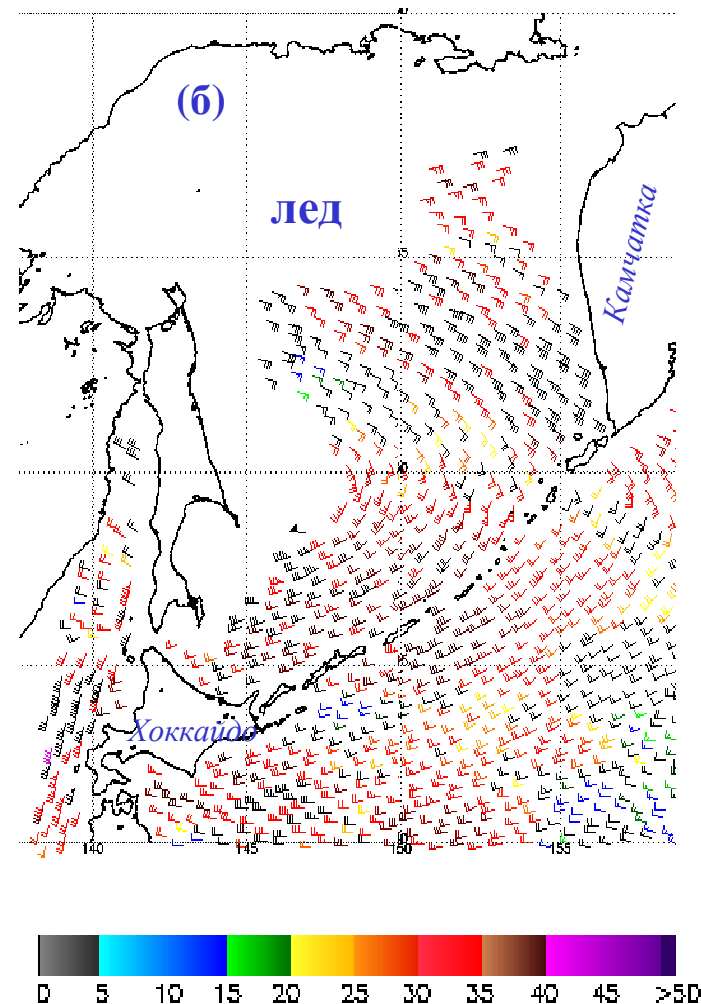
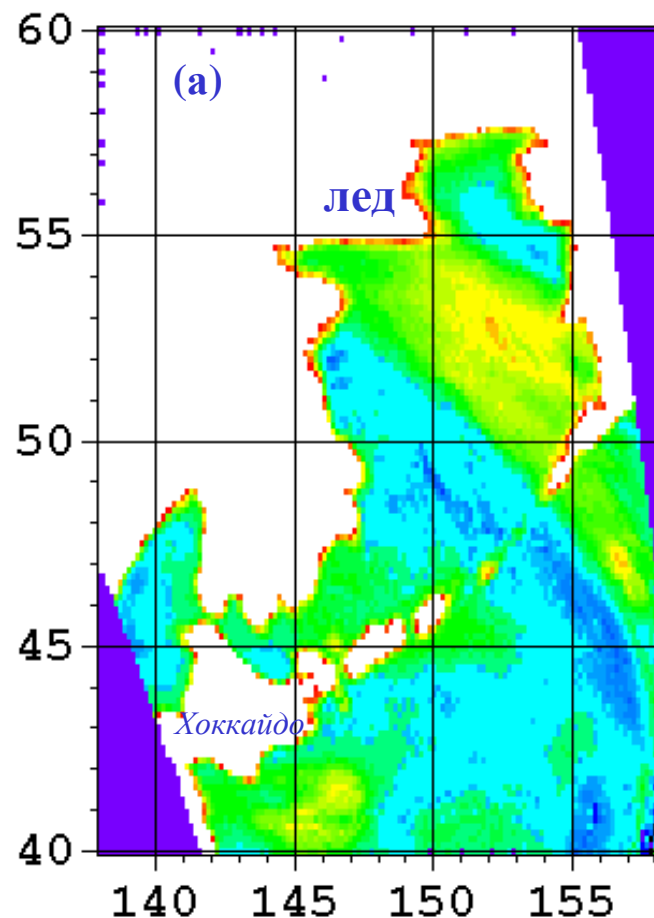


Скорость ветра, м/с

Циклон над Японским морем 13 марта 2009 г.

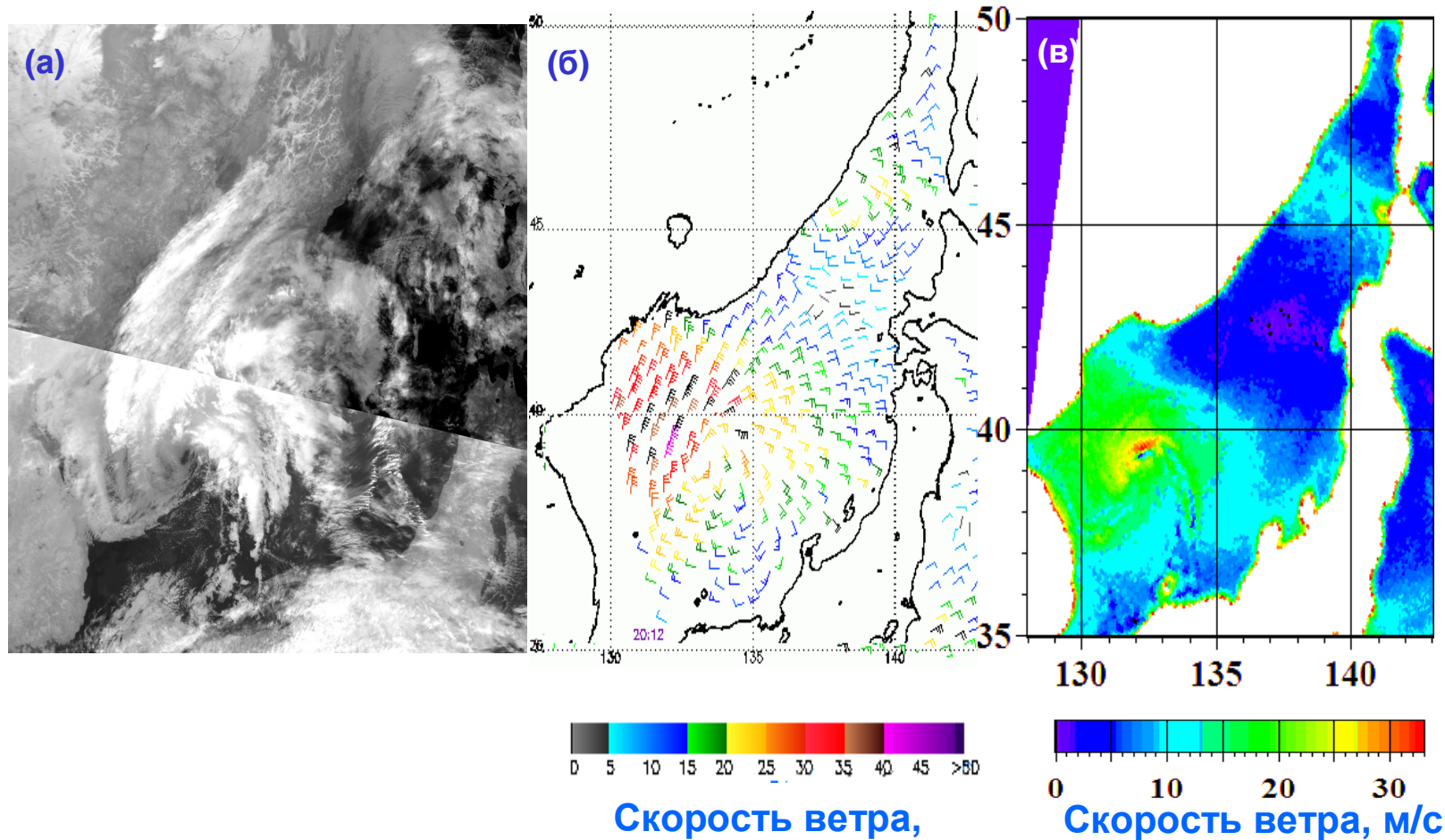
- (a) Поле ветра в 09:36 Гр., восстановленное по данным скаттерометра *QuikSCAT* и
(б) поле ветра в 17:15 Гр., рассчитанное по данным радиометра *AMSR-E*

Циклон над Охотским морем 15 марта 2009 г.



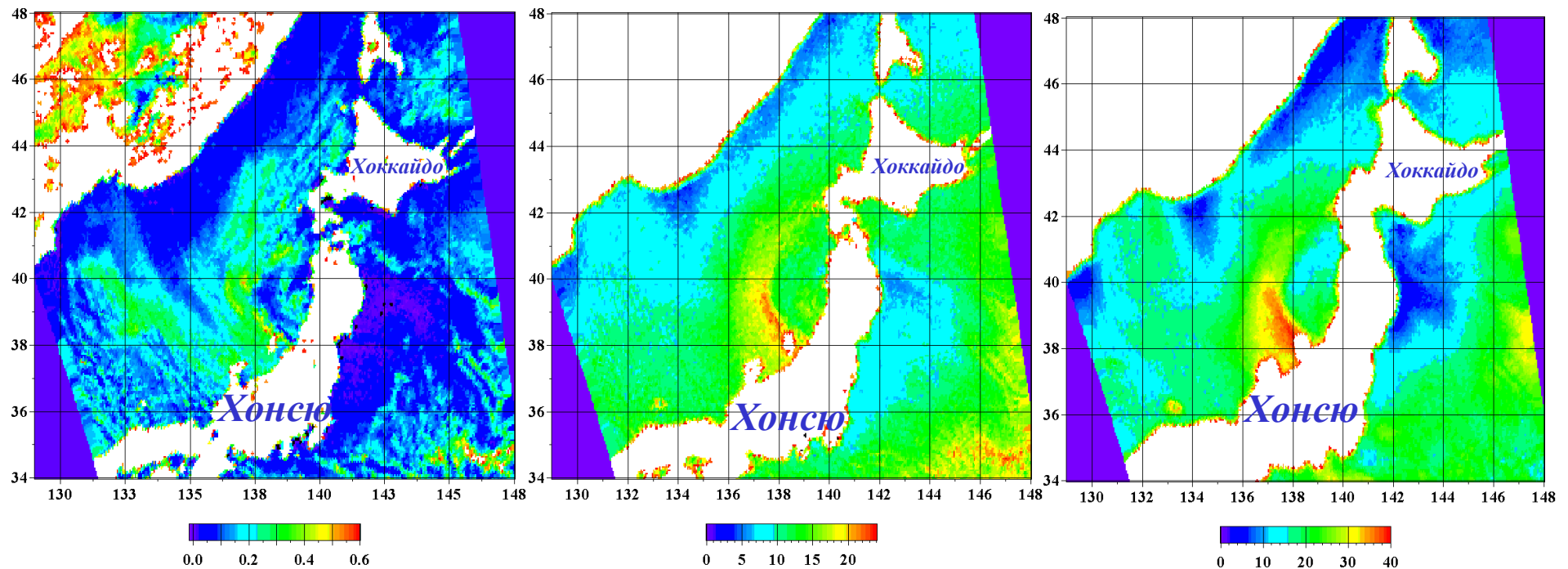
- (а) Поле ветра в 02:50 Гр. по данным радиометра **AMSR-E** со спутника **Aqua** и
(б) поле ветра в 08:39 Гр. по данным скаттерометра **QuikSCAT**

Поля облачности и ветра в мезоциклоне над Японским морем 8 января 2009 г.



(а) ИК-изображение, полученное спектрометрическим радиометром *MODIS* со спутника *Aqua* в 16:55 Гр., (б) поле ветра в 20:12 Гр., восстановленное по данным скаттерометра *QuikSCAT* и (в) поле ветра в 16:55 Гр., рассчитанное по яркостным температурам *AMSR-E* со спутника *Aqua*

Мезоциклон над Японским морем 20 декабря 2003 г.

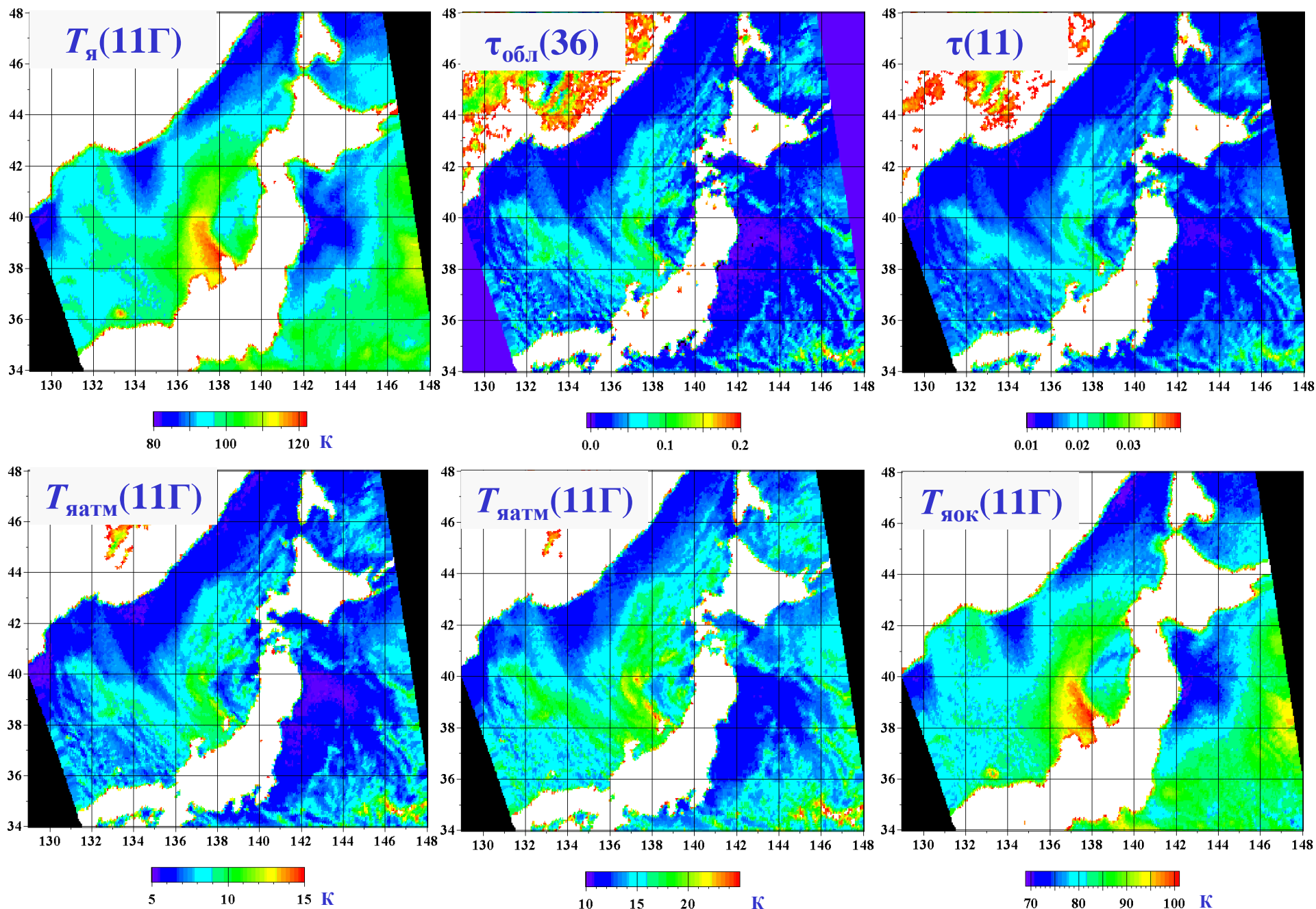


Водозапас облаков,
кг/м²

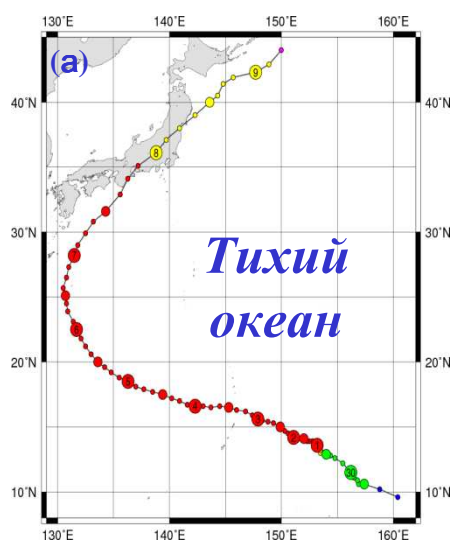
Паросодержание
атмосферы, кг/м²

Скорость ветра,
м/с

Мезоциклон над Японским морем 20 декабря 2003 г.



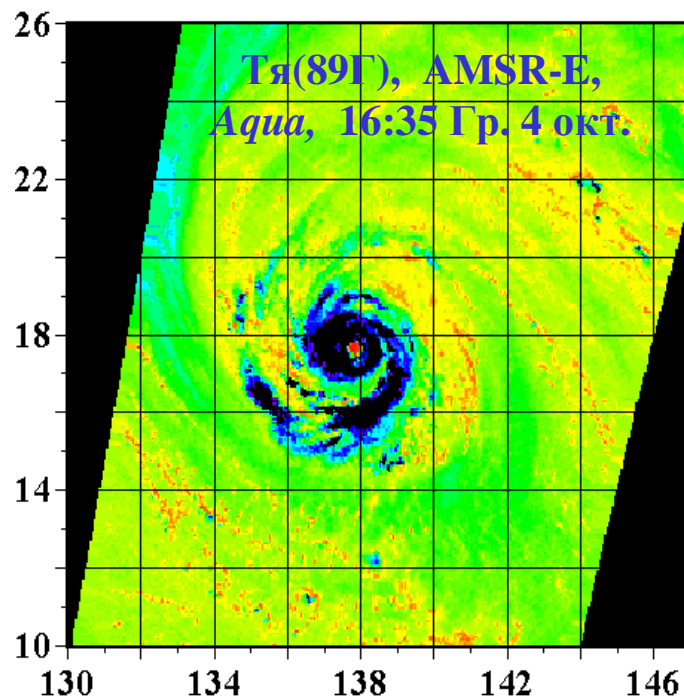
Тайфун Мелор



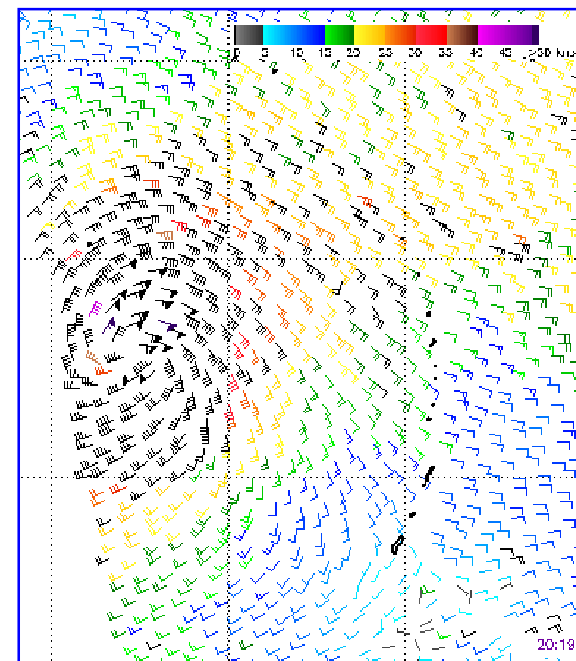
(а) траектория и
(б) давление (в мб)
в центре ТЦ Melor



Видимое изображение.
MODIS, Terra,
01:55 Гр. 5 окт

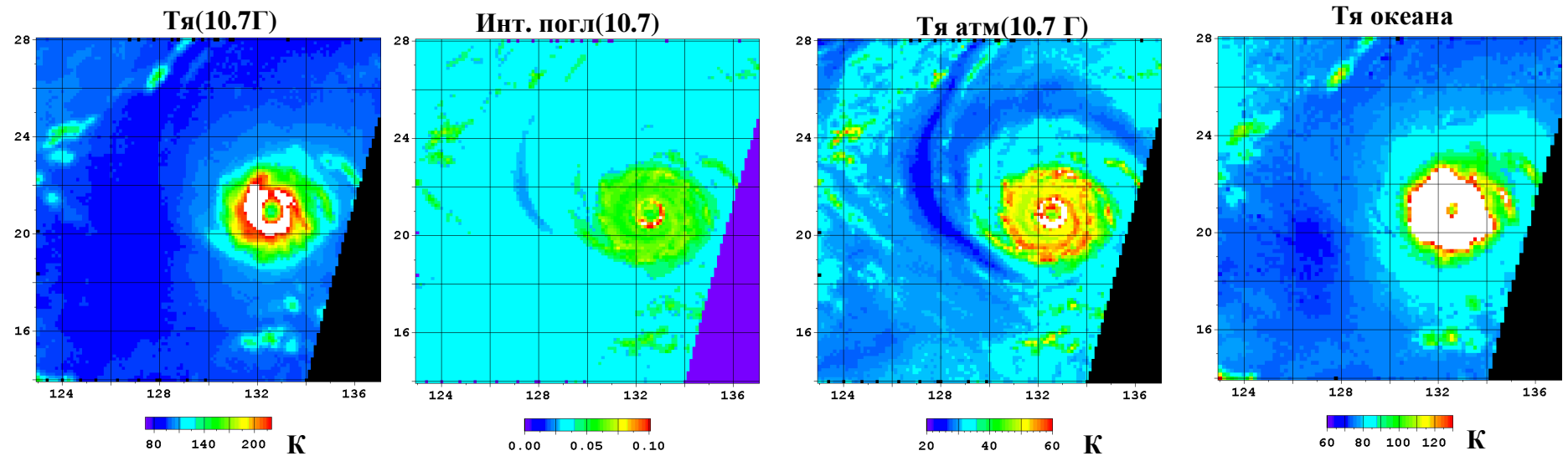
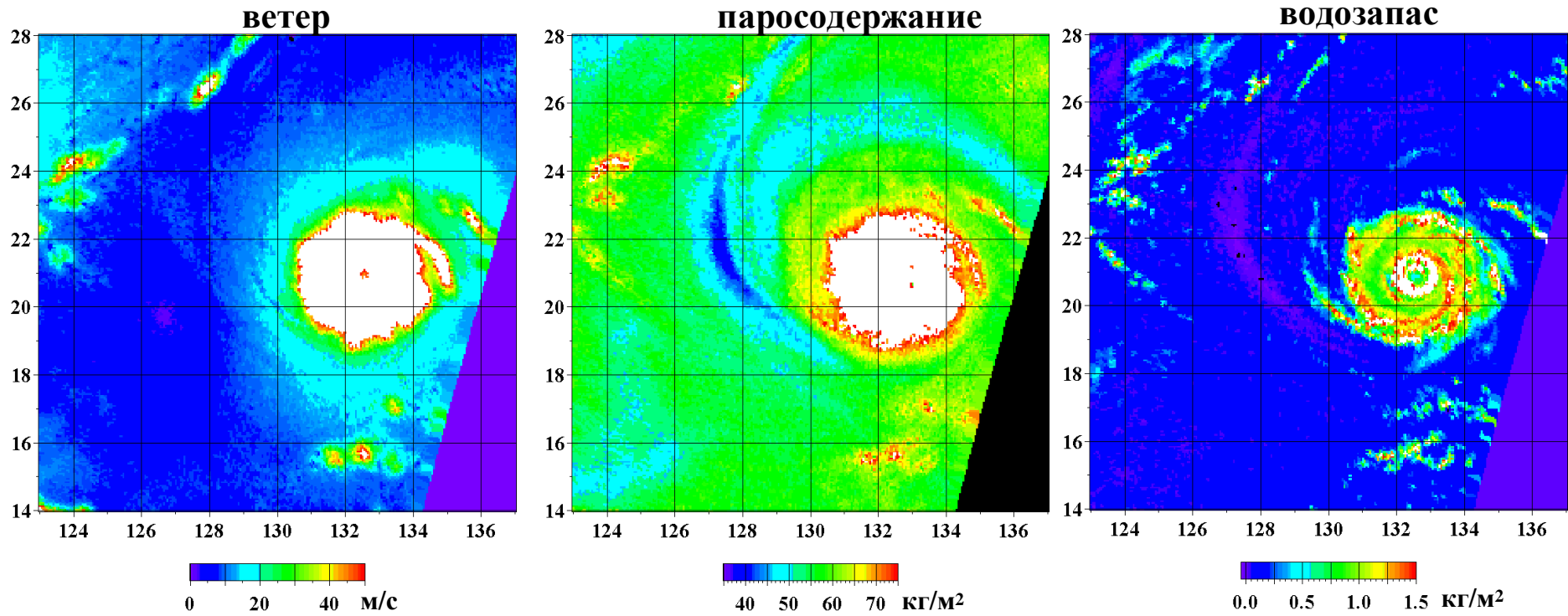


Тя(89Г), AMSR-E,
Aqua, 16:35 Гр. 4 окт.

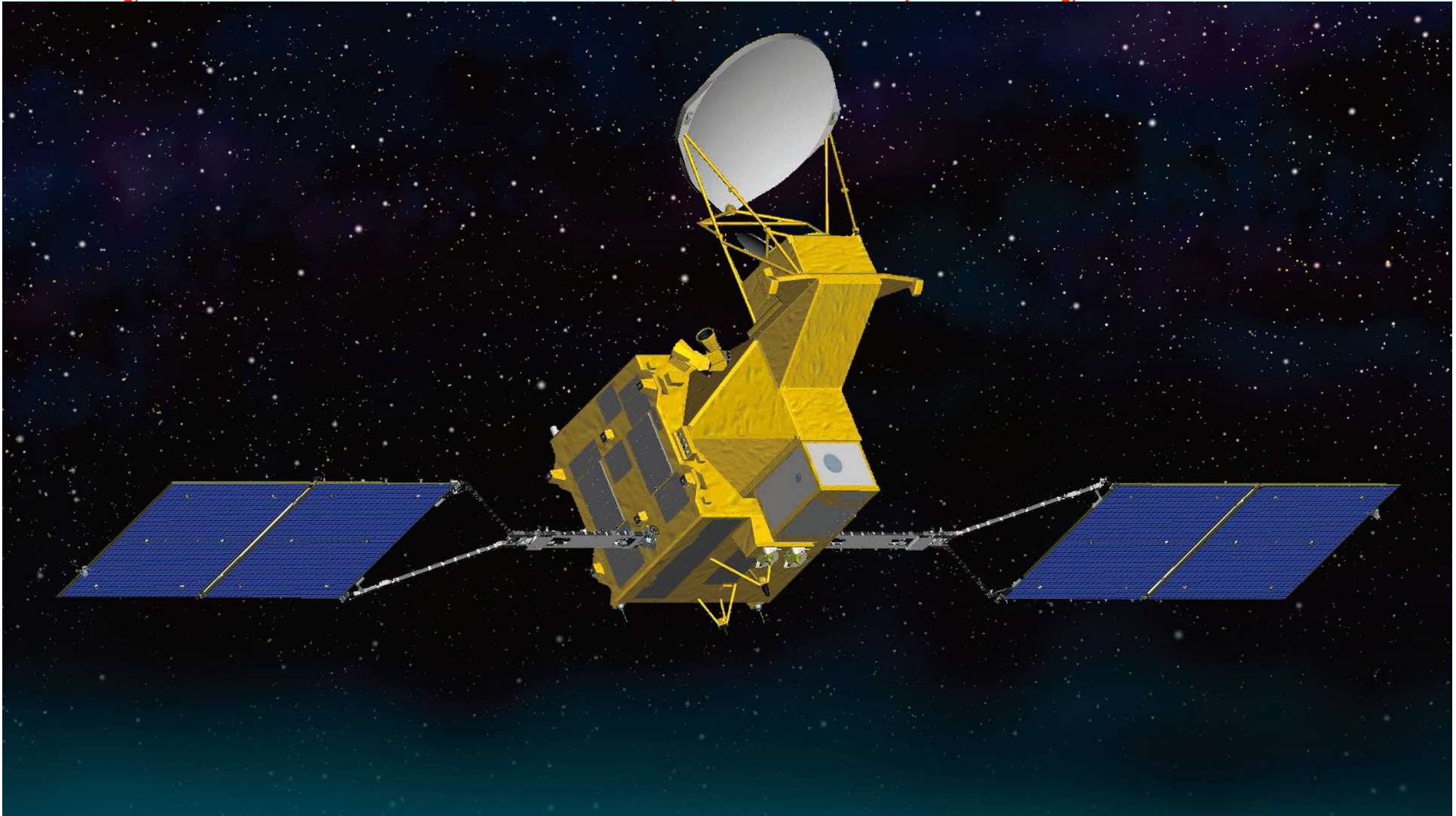


Приводный ветер,
QuikSCAT,
20:19 Гр., 4 окт.

Тайфун Мелор



Спутник GCOM-W1 (Япония). Запуск в 2011 г.



Усовершенствованный микроволновый сканирующий радиометр **AMSR2** для измерения собственного излучения земных покровов, поверхности океана и атмосферы на 7 частотах в диапазоне от 7 до 89 ГГц. Самая большая в мире спутниковая вращающаяся антенна.

Заключение

1. Разработан алгоритм восстановления приводного ветра по данным радиометра **AMSR-E** (спутник **Aqua**). Скорость ветра оценивается по приращениям яркостной температуры океана на частоте 10.7 ГГц на Г-поляризации относительно $T_{Яок}$ при штиле. Вклад атмосферы в яркостную температуру $T_{Я}(10Г)$, измеряемую **AMSR-E**, находится по значениям поглощения в облаках $\tau_{обл}$ и паросодержания атмосферы V , которые определяются по $T_{Я}(24В)$ и $T_{Я}(36В)$.
2. Алгоритм использован при анализе погодных систем над северо-западной частью Тихого океана. При $W < 20$ м/с поля ветра по данным **AMSR-E** хорошо согласуются с полями ветра по данным **QuikSCAT**, а при $W > 20$ м/с превышают их.
3. Следует продолжить теоретические и экспериментальные исследования зависимостей коэффициентов излучения взволнованной морской поверхности в микроволновом диапазоне от характеристик приводного ветра и других геофизических параметров, включая пространственные вариации излучения для учета эффектов пространственного сглаживания.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 08-05-99109-р_офи и 09-05-13569-офи_ц, договора 4/09 программы “Мировой океан” и проекта № 111 по соглашению между ЈАХА и ТОИ ДВО РАН.

