

Алгоритм оценки приводного ветра по данным микроволнового радиометра **AMSR-E** и его применение к анализу погодных систем в тропической зоне

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*



8-я Всероссийская конференция «Современные проблемы
дистанционного зондирования Земли из космоса»

Москва, 15-18 октября 2010 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 области тропических циклонов
- Заключение

Цели

- 1) **Разработка алгоритма оценки скорости приводного ветра на основе численных экспериментов с моделью переноса микроволнового излучения на каналах радиометра AMSR-E (спутники Aqua)**
- 2) **Применение алгоритма для восстановления ветра в тропических циклонах**

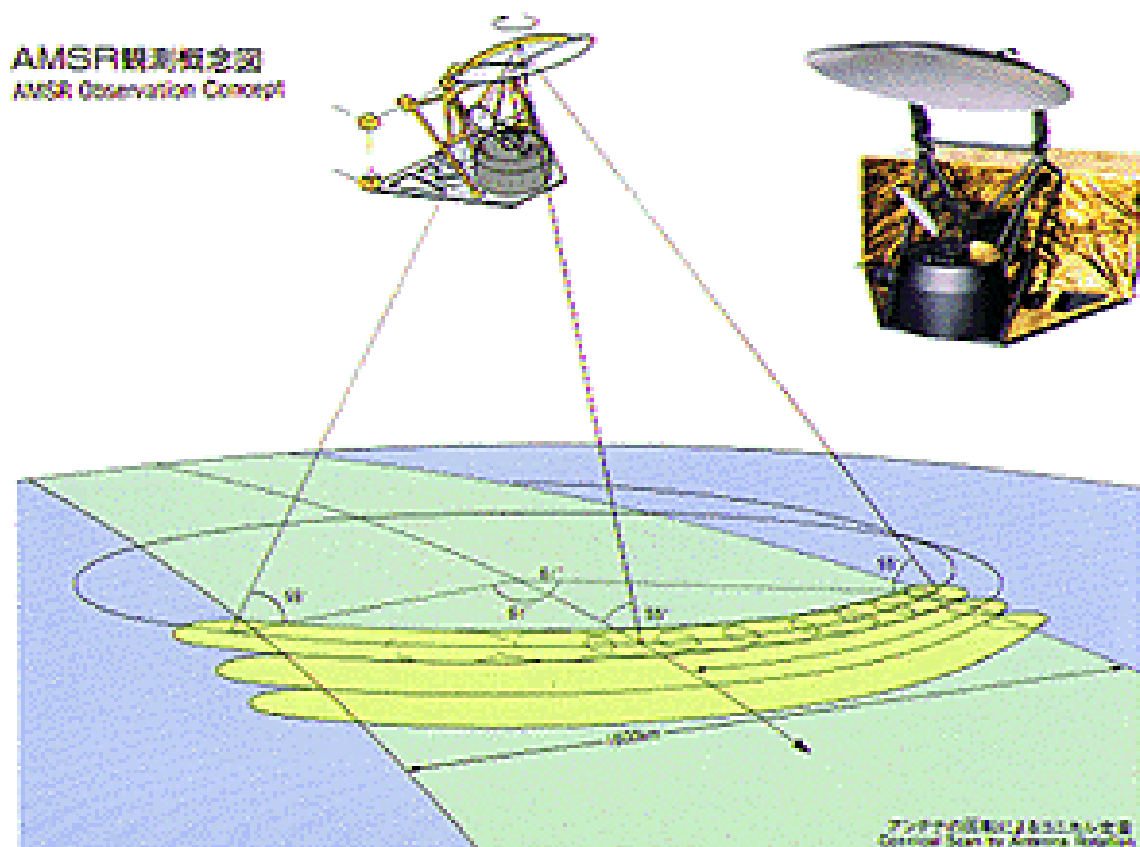
Введение

Приводный ветер – важнейший геофизический параметр. Данные о ветре нужны не только для обеспечения транспортных и рыбо-промысловых работ на море, эксплуатации и строительства нефтяных платформ, для уменьшения ущерба от опасных явлений в прибрежной зоне. Они необходимы для расчетов потоков скрытого и явного тепла, оценки бюджетов энергии, влаги и углерода и для многих др. научных задач. Отсюда следует необходимость улучшения пространственного и временного разрешения.

Восстановление ветра по спутниковым измерениям.

- **Альтиметр.** Трассовые измерения. Плохое пространственное и временное разрешение.
- **Скаттерометр SeaWinds**, спутник **QuikSCAT** (до ноября 2009).
Глобальные поля ветра дважды в сутки. Разрешение 25 x 25 км, 12,5 x 12,5 км. Большие погрешности при $W > 20$ м/с из-за насыщения зависимости УЭПР от скорости ветра. Скаттерометр **ASCAT**, спутник MetOp (с 2006)
- **Микроволновые радиометры.** Широкая полоса обзора. Насыщение $T_{я}(v)$ от W в диапазоне 5-12 ГГц отсутствует.
- Требуется уточнение зависимостей $T_{я}(v)$ на различных углах визирования и поляризациях от характеристик приводного ветра при вариациях устойчивости пограничного слоя атмосферы и ТПО.

Микроволновый радиометр **AMSR-E**



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

По данным измерений радиометра **AMSR-E** могут быть восстановлены: *паросодержание атмосферы, водозапас облаков, интенсивность осадков, скорость приводного ветра, температура поверхности океана, сложенность ледяного покрова, влажность почвы, и другие параметры.*

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 (3дБ)	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	3x6	
Инт. выборки, км X км	10x10							5x5	
Темпер. 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	
Динам. диапазон, К	2.7 - 340								
Полоса обзора, км	Примерно 1600 и 1450								
Цикл сканиров., сек	1.5								

Яркостная температура системы океан-атмосфера

$$T_B(\nu, \theta) = \kappa(\nu, \theta) T_s e^{-\tau(\nu) \sec \theta} + \int_0^H T(h) e^{-\int_h^H \gamma(\nu, h') \sec \theta dh'} \sec \theta dh +$$

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

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

T_B – яркостная температура на частоте ν , θ - угол падения,

T_s – 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,

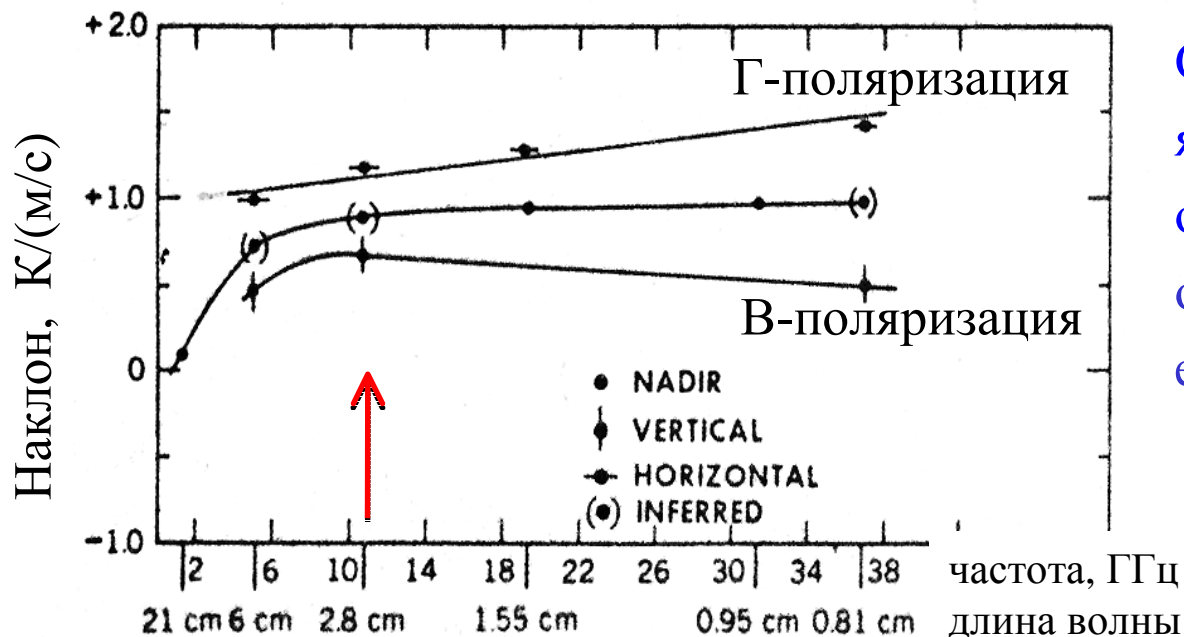
$T^C = 2.69 + 0.003625\nu$ - реликтовое космич. излуч. на верхней границе ат-ры.

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

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

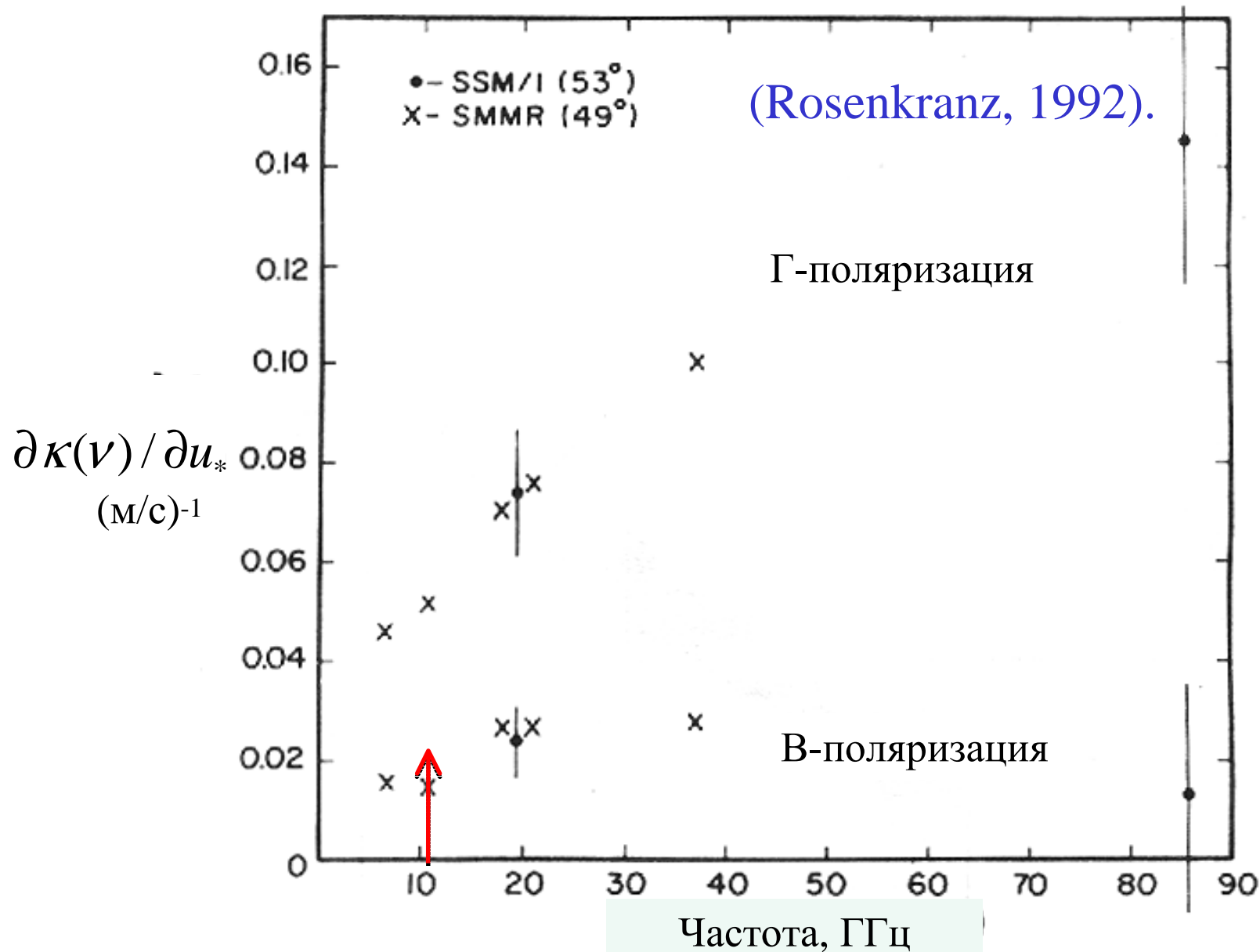
$T_{Яатм}^{\uparrow}(\nu, \theta)$ яркостная температура восходящего излучения атмосферы

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

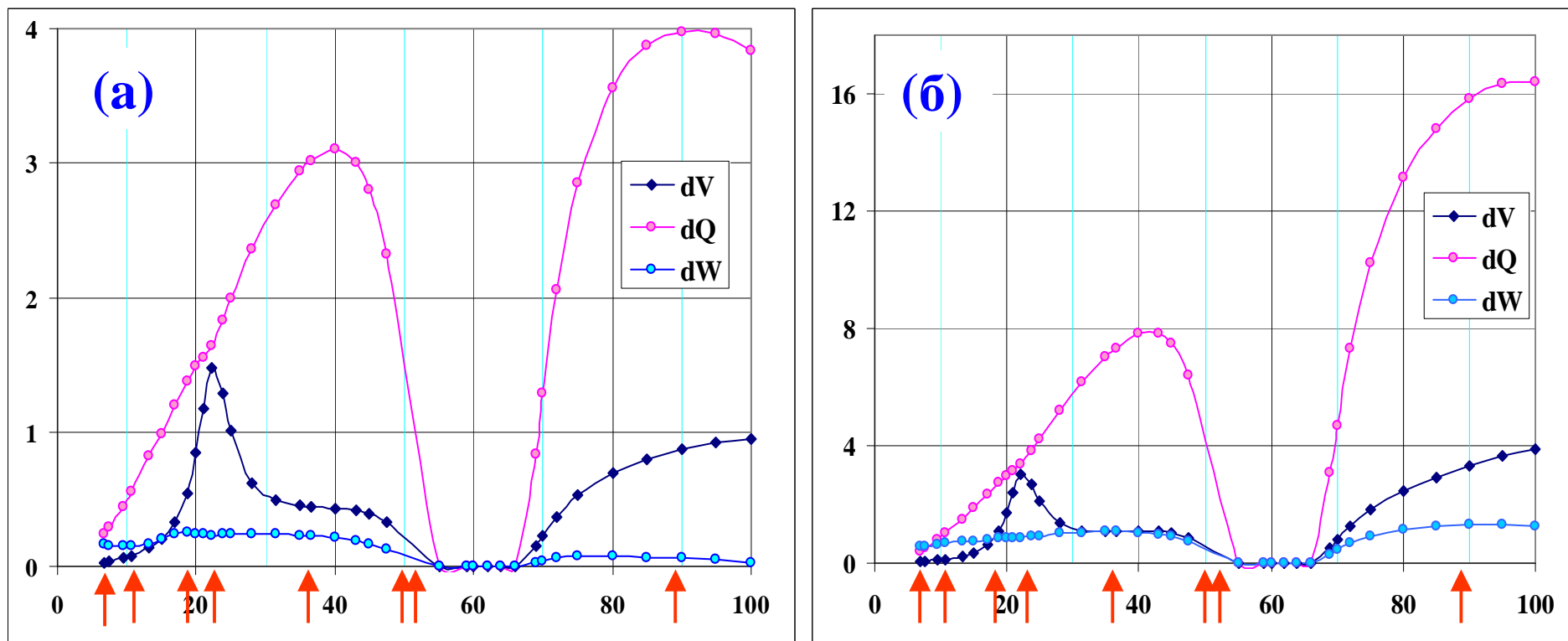


Спектр приращений яркостной температуры океана $T_{Яок}$ в зависимости от скорости ветра (Webster et al., 1976).

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



Спектры производных яркостных температур по интегральным параметрам атмосферы



Расчетные спектры производных яркостной температуры по полной массе водяного пар в атмосфере $\partial T_{\text{я}}/\partial V$ (К/(кг/м²), по водозапасу облаков $\partial T_{\text{я}}/\partial Q$ (К/(кг/м²) и по скорости ветра $\partial T_{\text{я}}/\partial W$ (К/(м/с) при угле визирования $\theta = 55^\circ$:

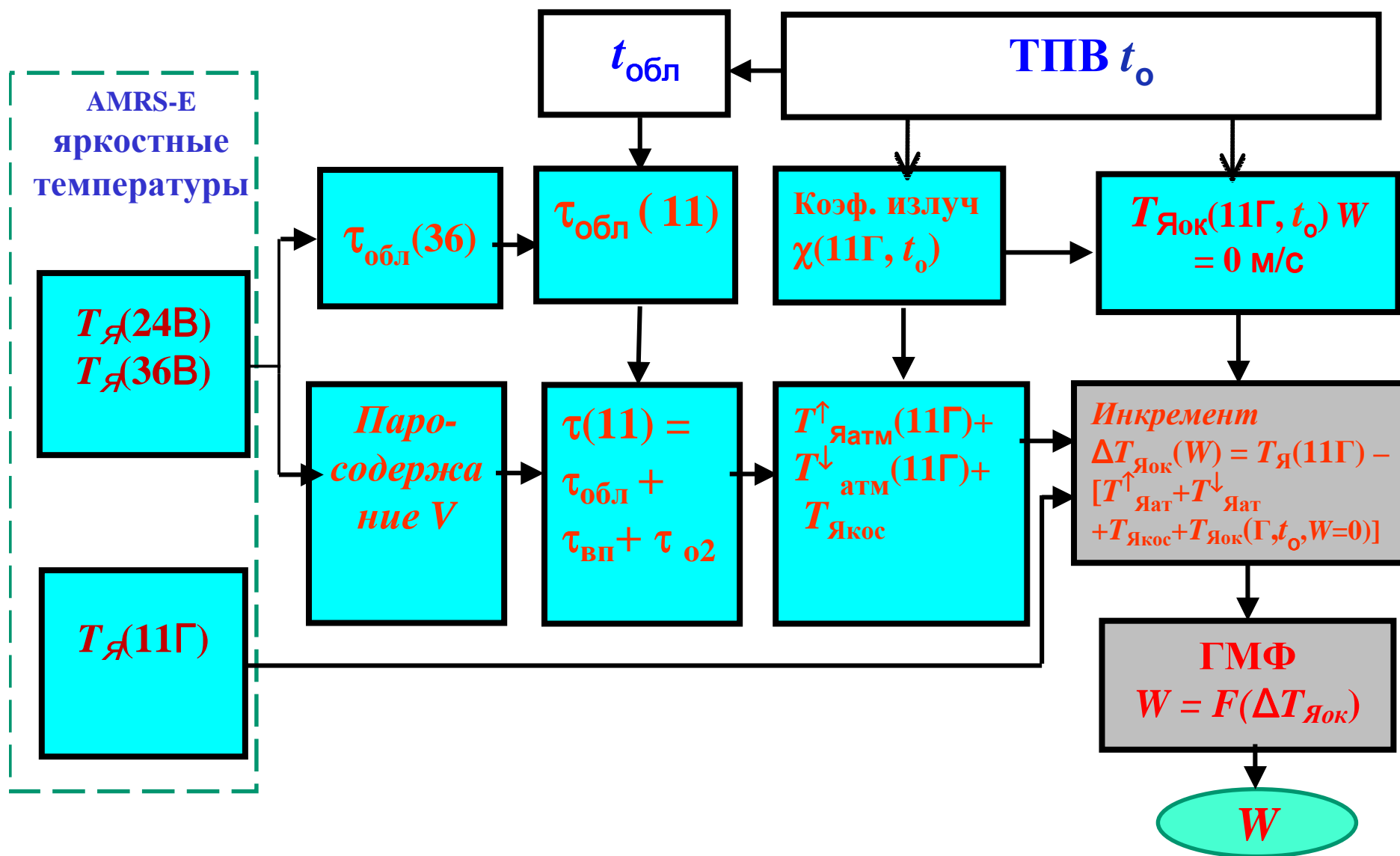
(а) - на вертикальной и (б) - на горизонтальной поляризациях. Стрелки соответствуют частотам **AMSR-E**. Значения $\partial T_{\text{я}}/\partial Q$ уменьшены в 10 раз.

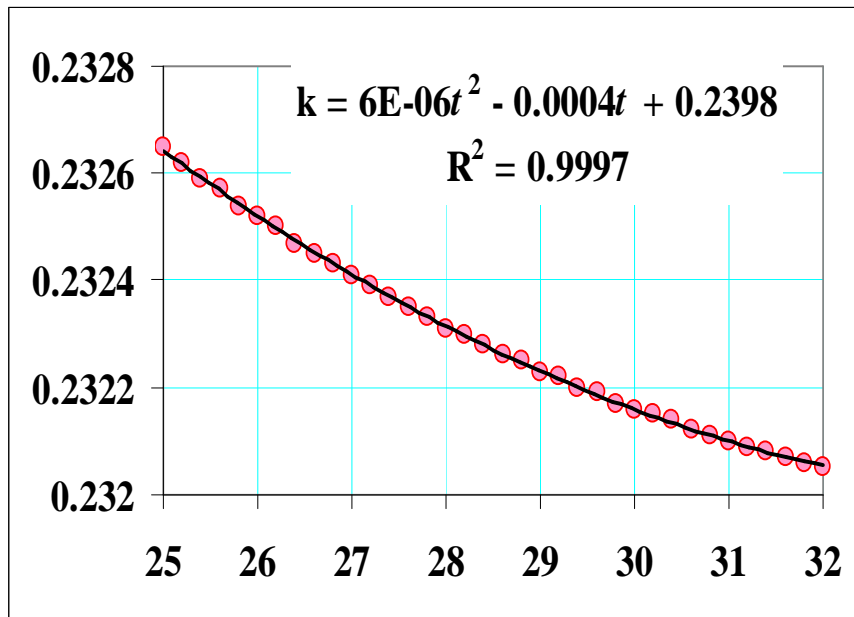
Фоновые значения: $V = 5$ кг/м², $Q = 0$ кг/м², $W = 5$ м/с

Моделирование яркостных температур системы океан-атмосфера и разработка алгоритма

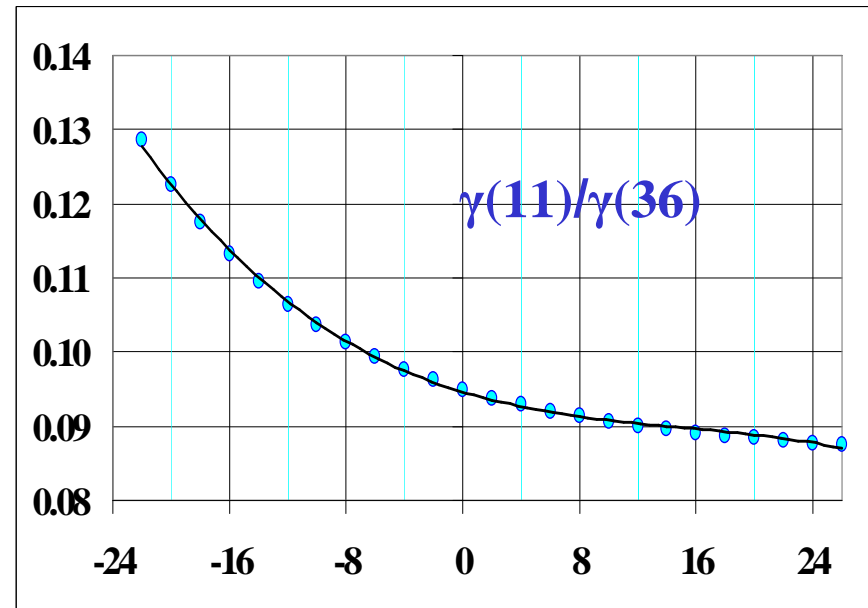
- Для проведения модельных расчетов использовалась база данных, созданная на основе 2510 радиозондовых измерений с НИС и островных метеостанций, дополненная информацией об облачности, ТПО и скорости приводного ветра.
- Эта база была увеличена примерно в 4 раза путём ввода флуктуаций ветра и вариаций водозапаса облаков.
- Было отобрано 2095 точек для ТПО $\geq 25^{\circ} \text{C}$, $Q \leq 1 \text{ кг/м}^2$
- Для оценки влияния погрешностей измерения, набрасывались случайные отклонения на яркостные температуры в диапазоне $\pm 0.2 \text{ К}$ (11Г), $\pm 0.5 \text{ К}$ (23В и 36В) и $\pm 2^{\circ} \text{C}$ для ТПО

Алгоритм восстановления скорости ветра





Температура поверхности океана t_o С



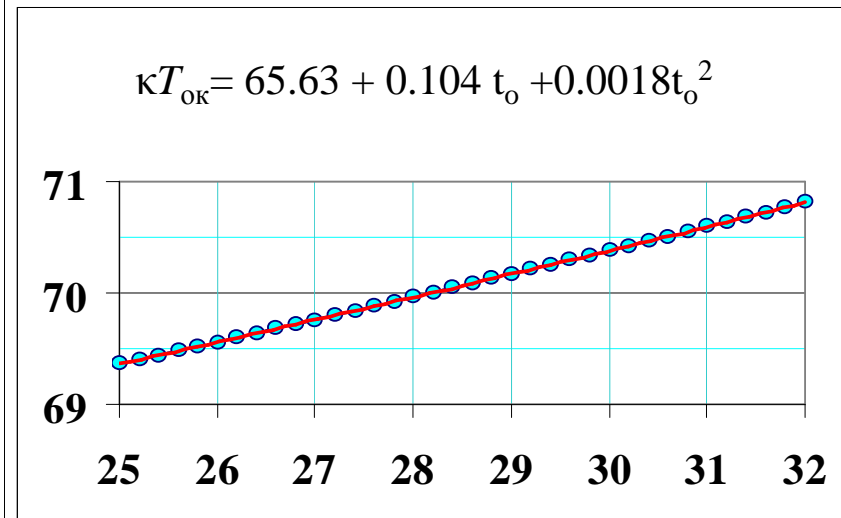
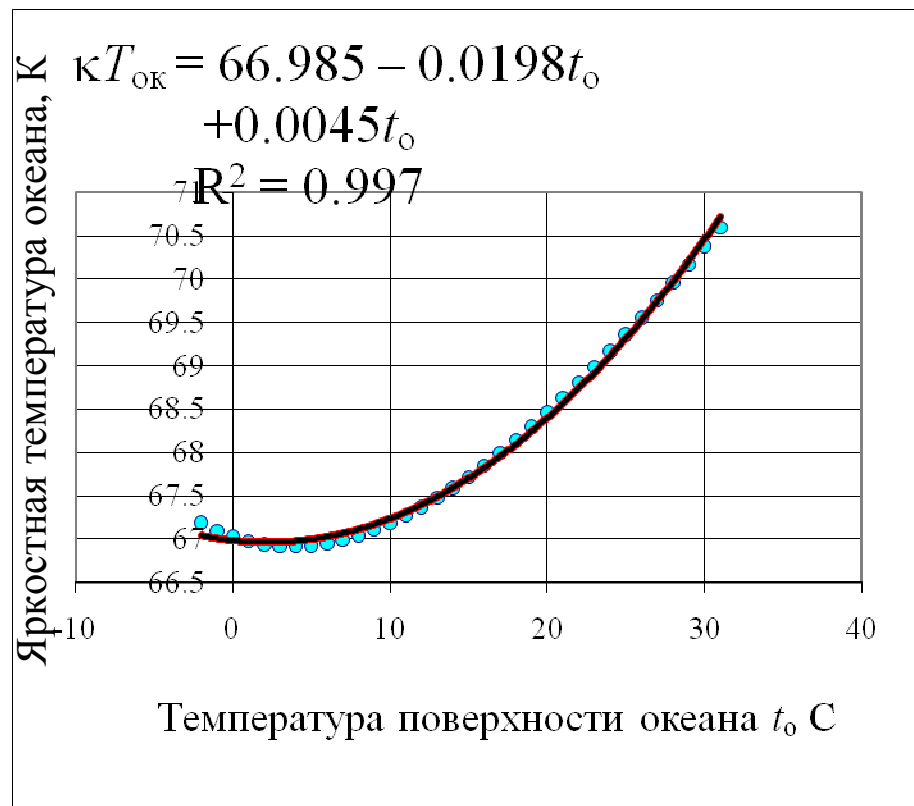
Температура облачных капель $t_{обл}$ С

k – коэффициент излучения гладкой морской поверхности на частоте 10.7 ГГц на горизонтальной поляризации; угол визирования 55°

$\gamma(\nu)$ -коэффициент поглощения в облаке

$$\gamma(10.7)/\gamma(36.5) = 0.0947 - 0.000573 t + 2.712E-05 t^2 - 7.038E-07 t^3$$

Яркостная температура океана при штиле



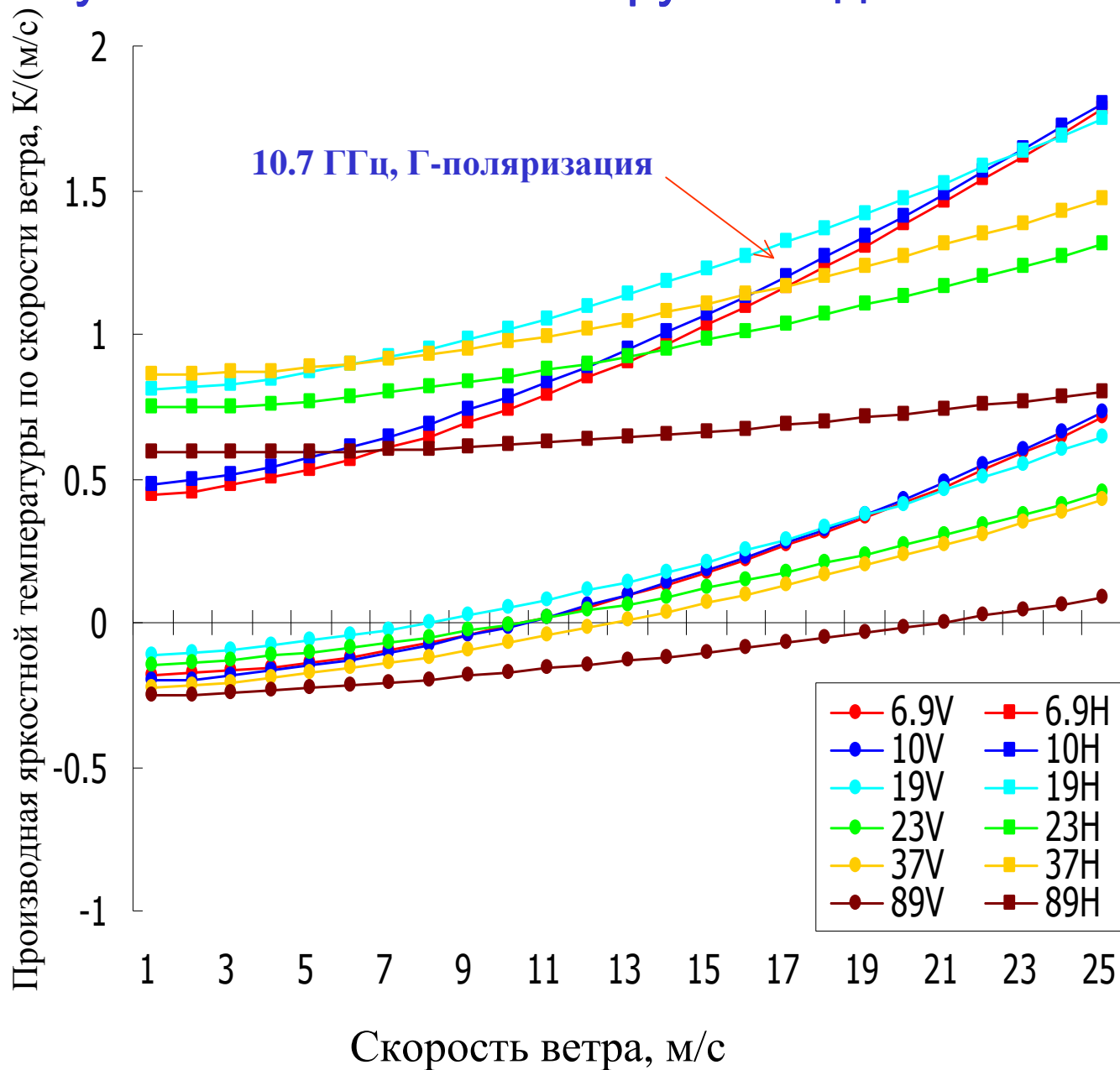
Приращение яркостной температуры океана, обусловленное действием ветра

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

Приращение коэффициента излучения океана, обусловленное действием ветра

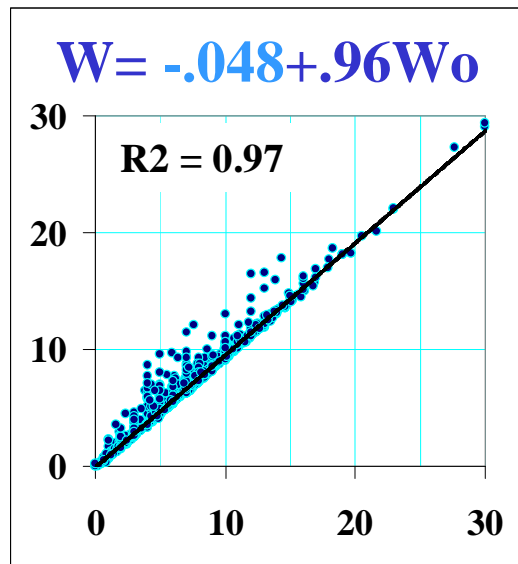
$$\Delta \kappa^{\Gamma}(W) = \frac{\Delta T_{Яок} e^{\tau \sec 55} - A(T_{ок})}{T_{ок} - T_{Яатм} e^{-\tau \sec 55}}$$

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.)

Влияние погрешностей измерения $\Delta T_{я}$ и $\Delta T_{пю}$ на вычисление скорости ветра

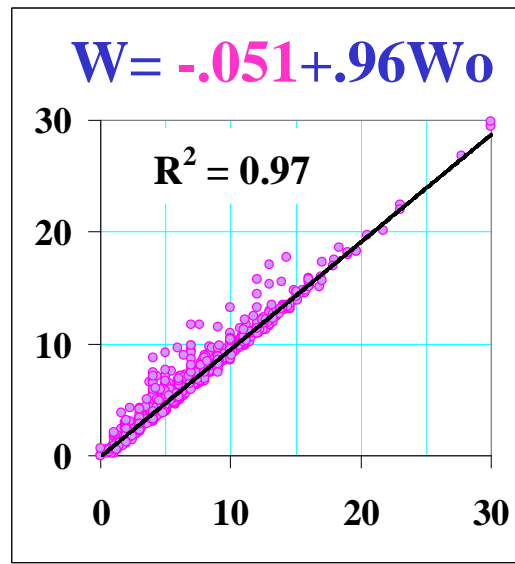


Скорость ветра W_0 , м/с

$\Delta T_{я} = 0$ К, $\Delta t_s = 0^\circ\text{C}$

$Q < 0.5$ кг/м² $\sigma = 0.53$

$Q < 1.0$ кг/м² $\sigma = 0.70$

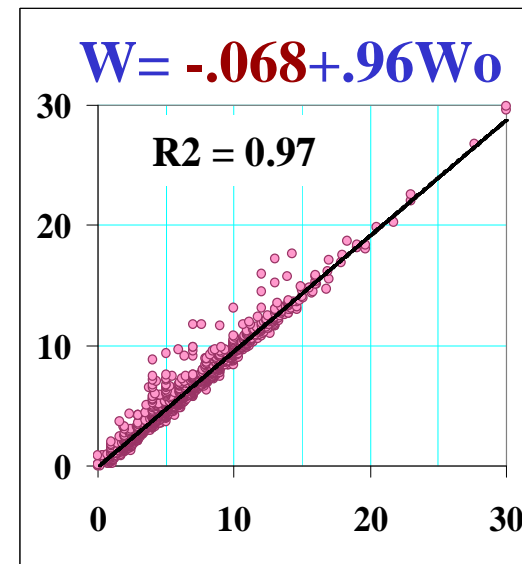


Скорость ветра W_0 , м/с

$\Delta T_{я} = 0.5$ К, $\Delta t_s = 0^\circ\text{C}$

$\sigma = 0.58$

$\sigma = 0.73$



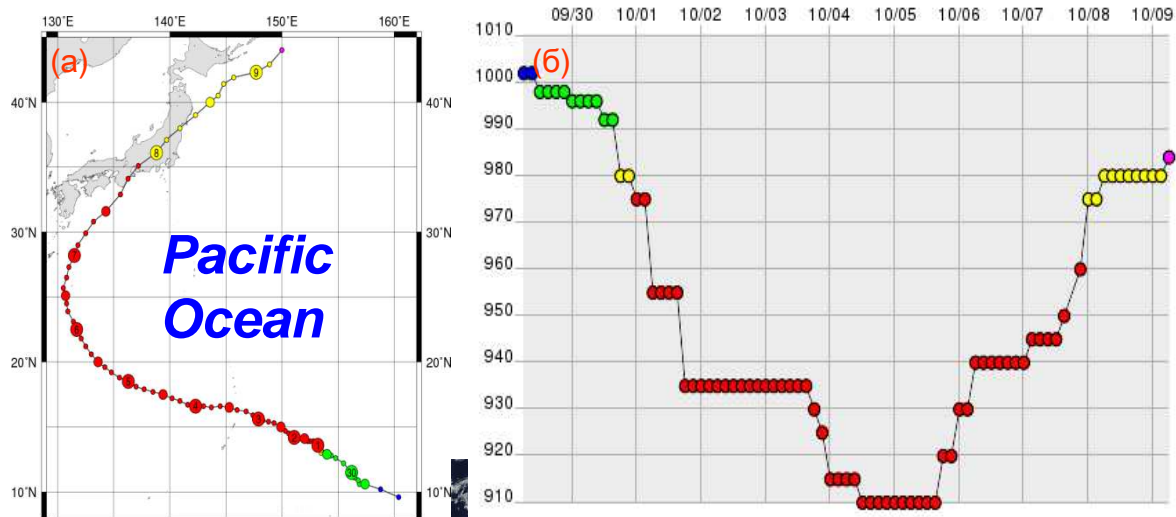
Скорость ветра W_0 , м/с

$\Delta T_{я} = 0.5$ К, $\Delta t_s = 2^\circ\text{C}$

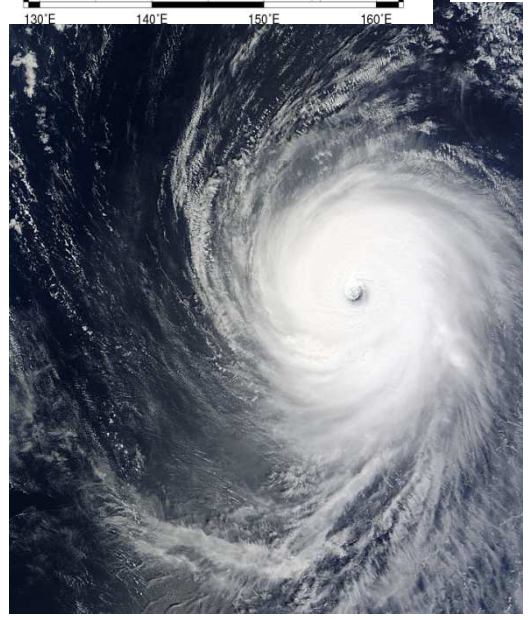
$\sigma = 0.60$

$\sigma = 0.75$

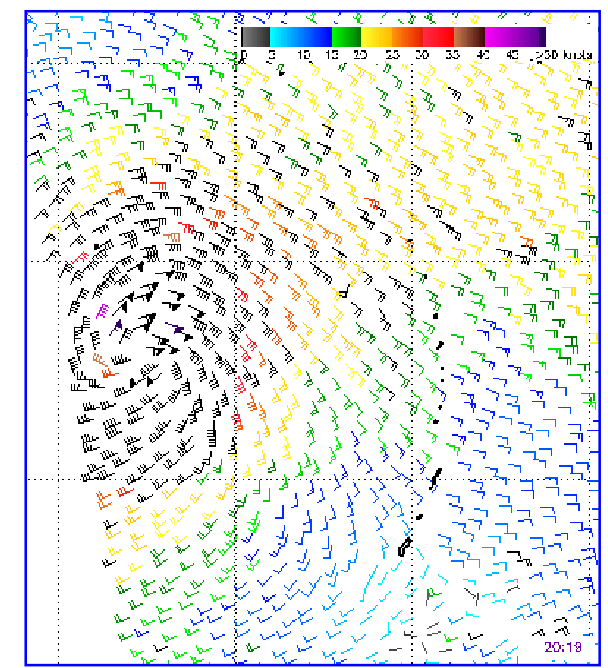
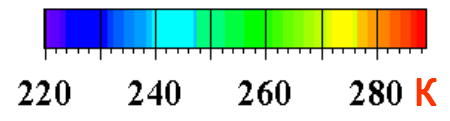
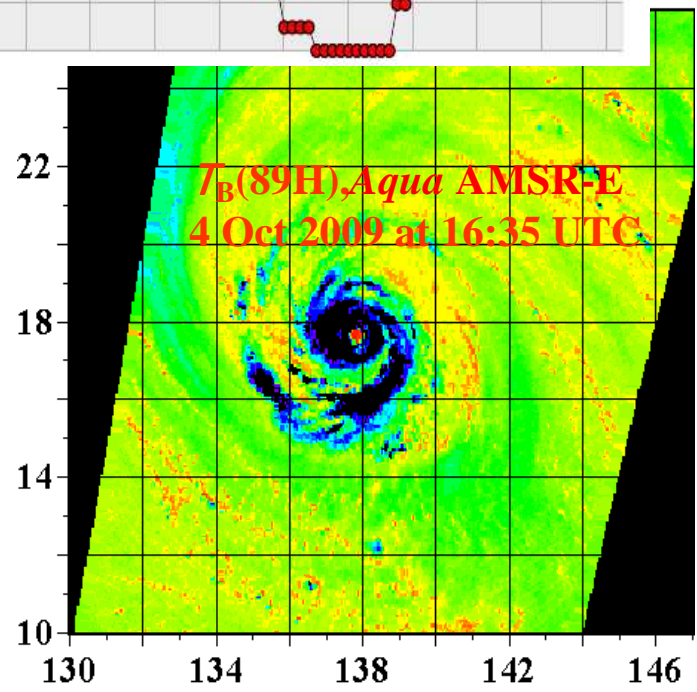
Typhoon Melor



(a) trajectory and
(b) central pressure (mb)



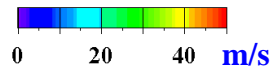
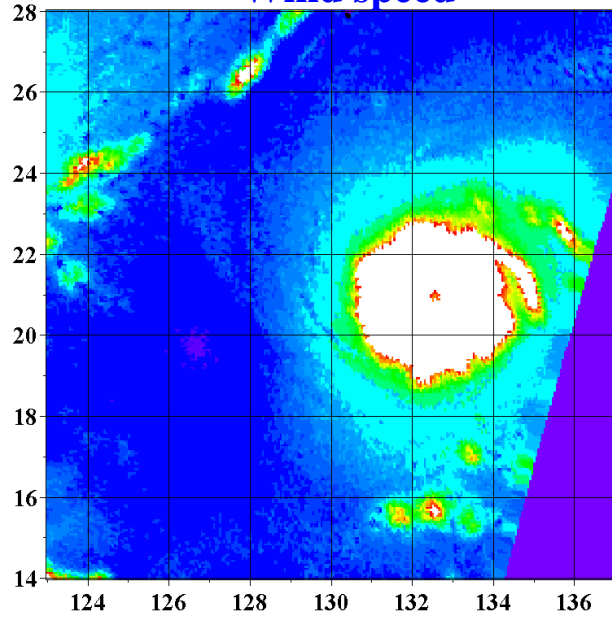
Terra MODIS visible image on
5 Oct at 01:55 UTC



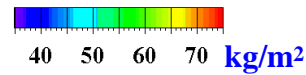
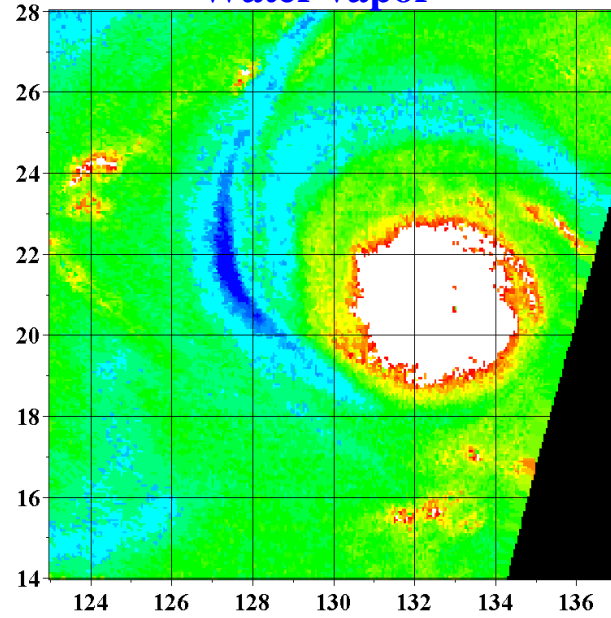
QuikSCAT -derived wind field
on 4 Oct at 20:19 UTC

Typhoon Melor

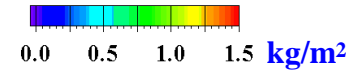
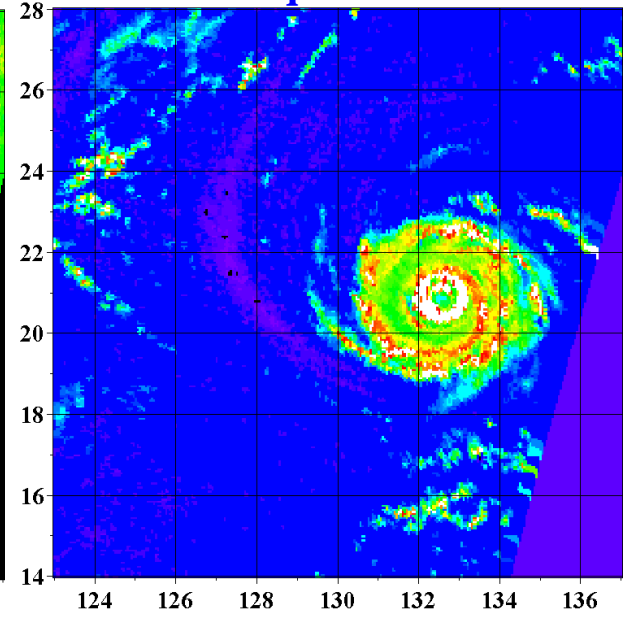
Wind speed



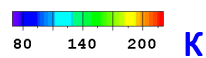
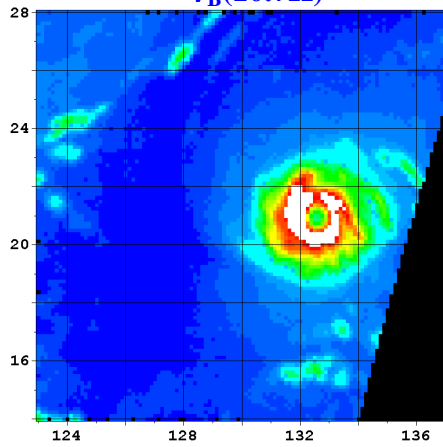
Water vapor



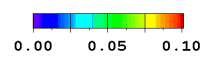
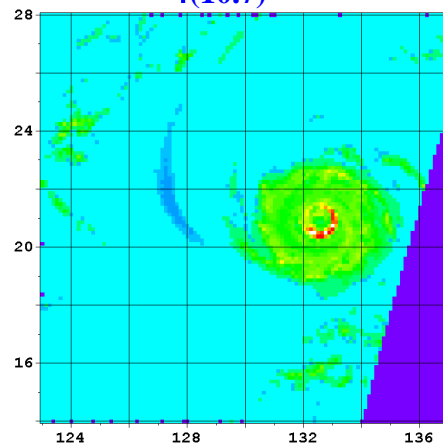
Cloud liquid water



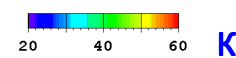
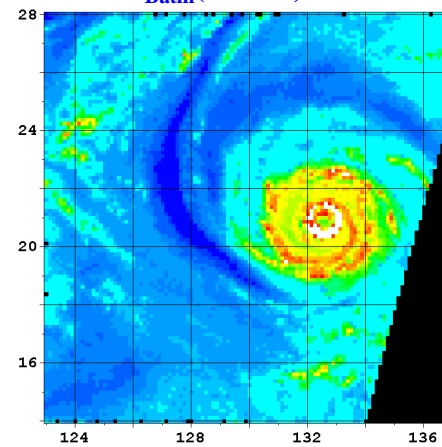
$T_B(10.7H)$



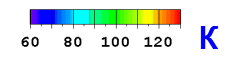
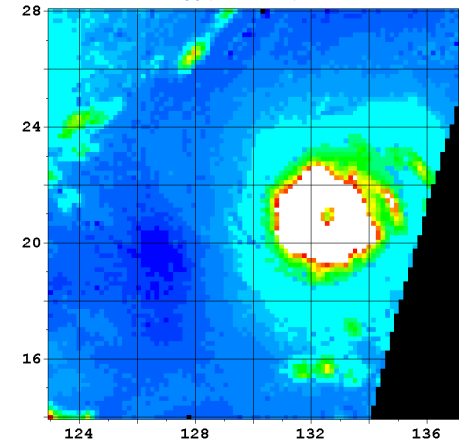
$\tau(10.7)$



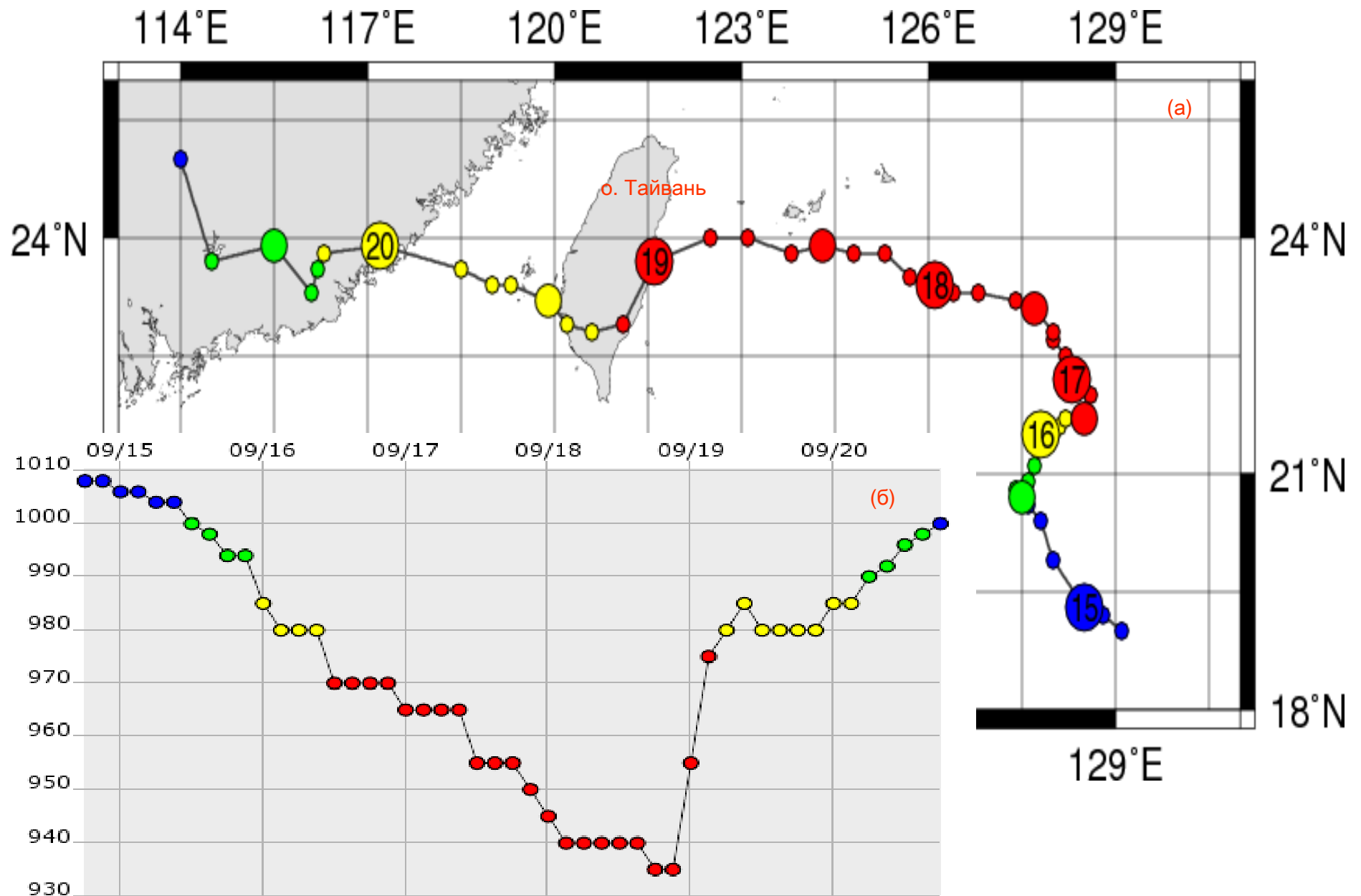
$T_{Batm}(10.7 H)$



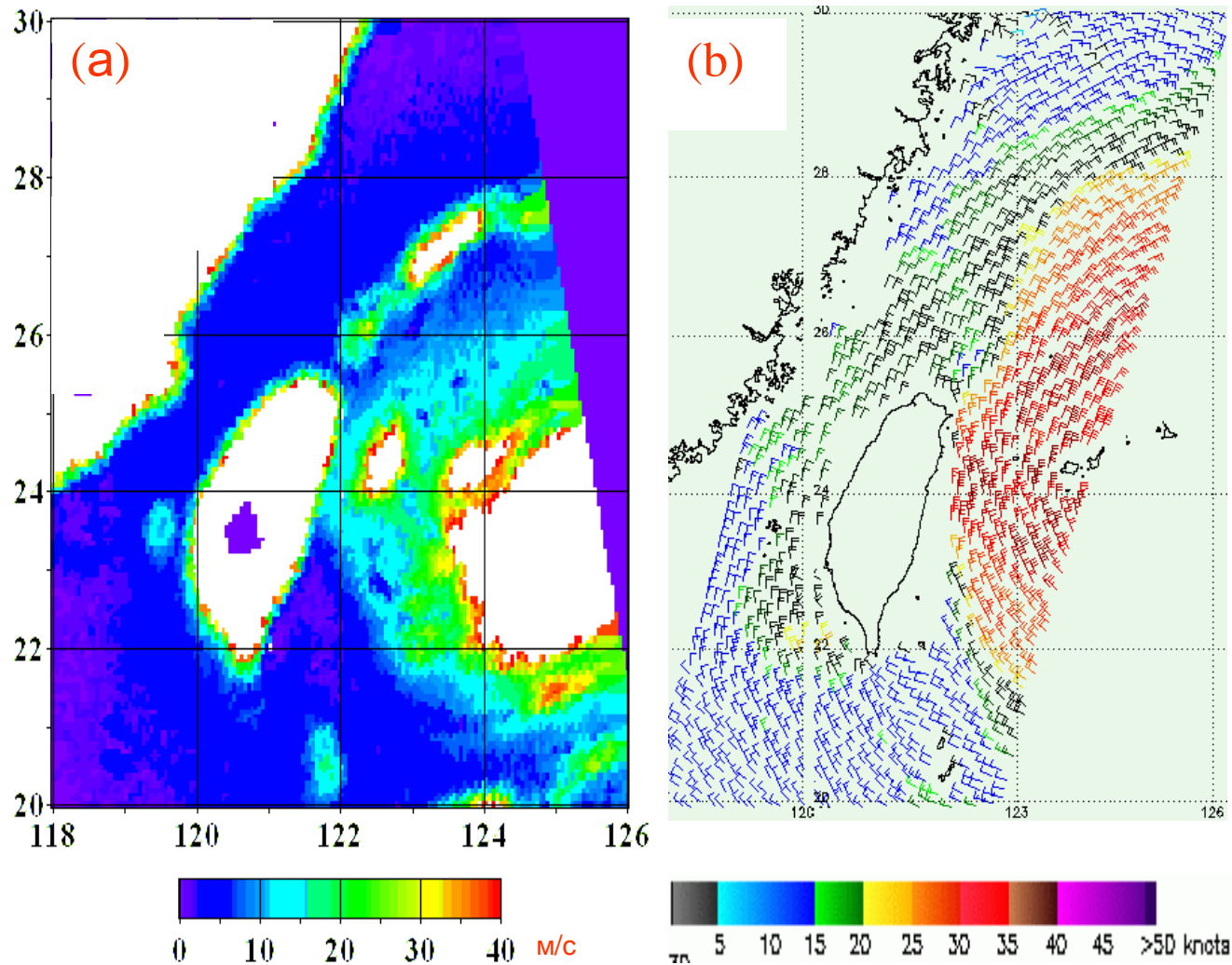
$T_{Boc}(10.7H)$



Trajectory and central pressure. Tropical cyclone Fanapi

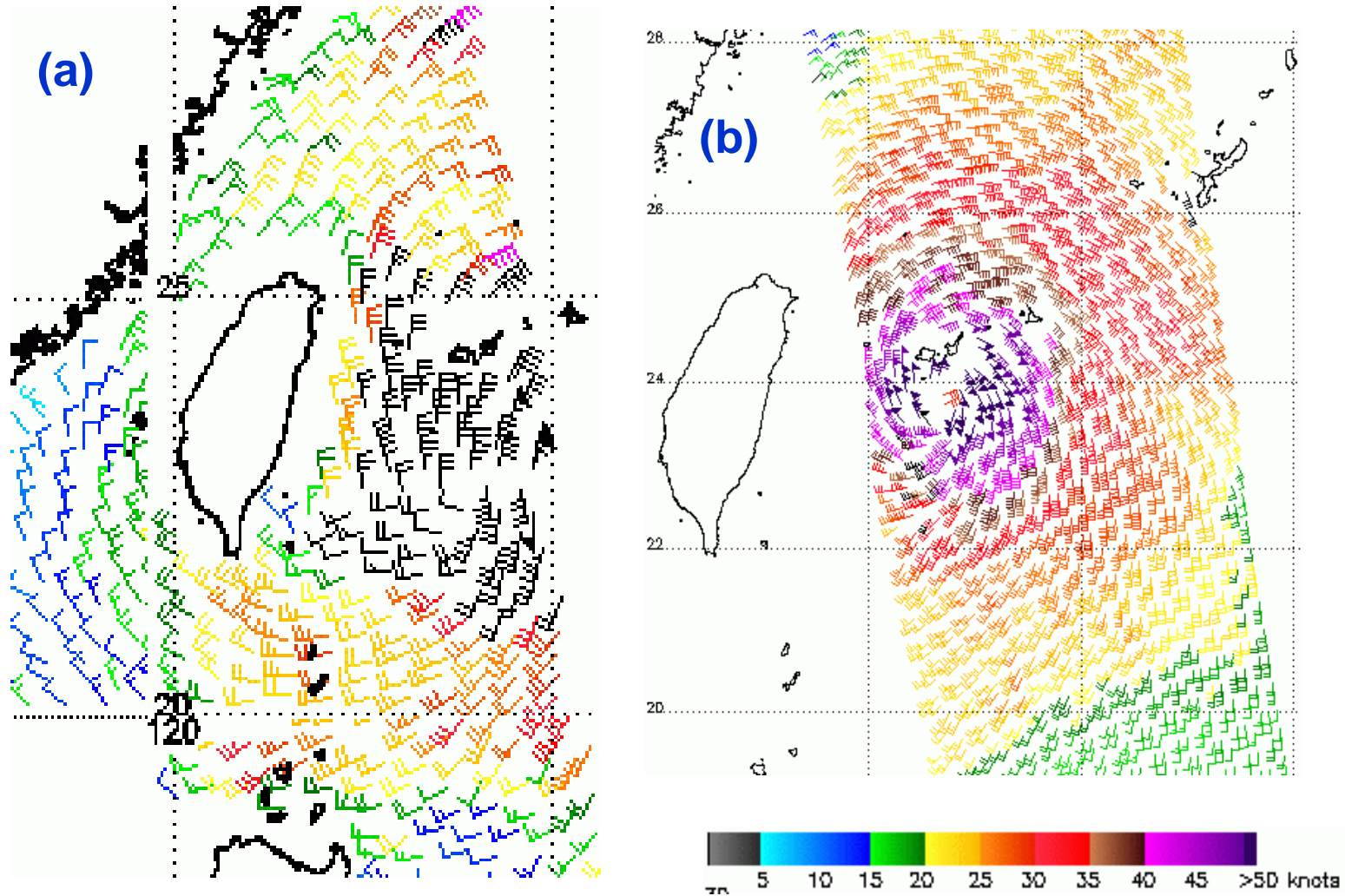


Fanapi. Sea surface wind



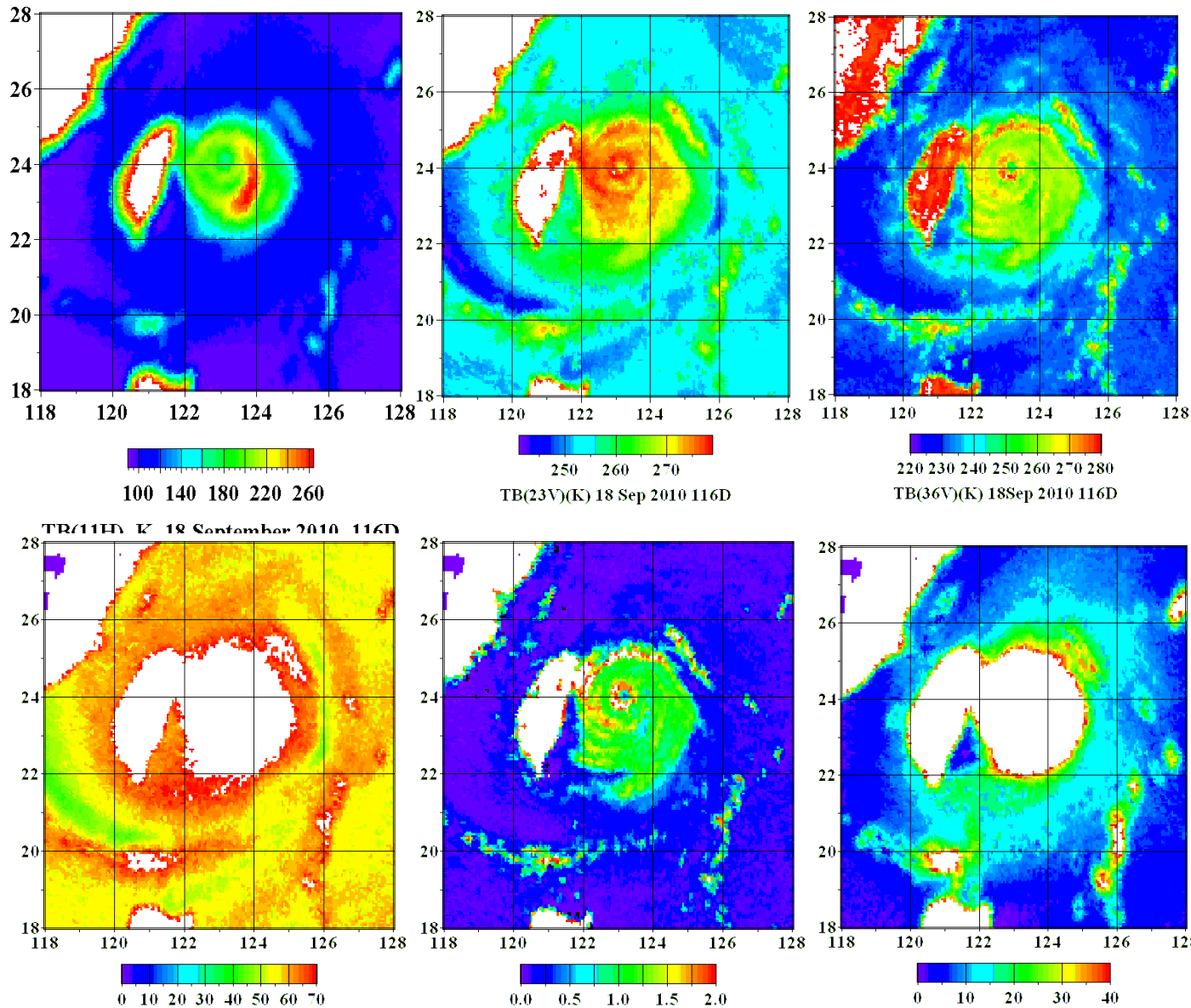
(a) Aqua AMSR-E at 04:30 UTC and (b) MetOp ASCAT at 02:02 UTC on 18 September 2010

Fanapi, 18 September



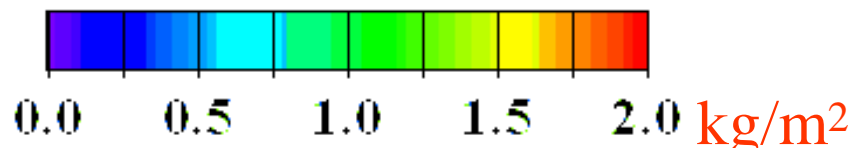
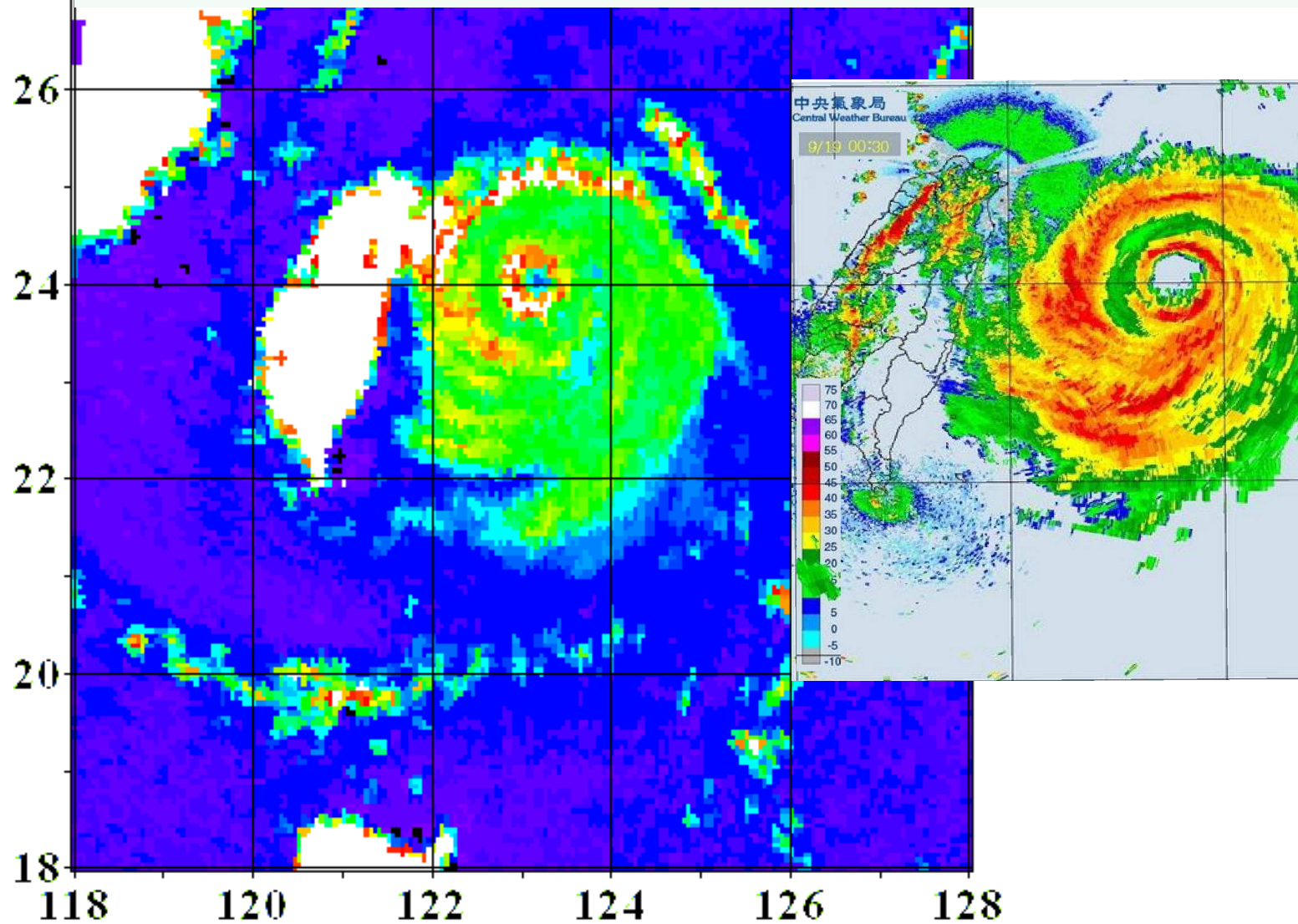
Surface wind retrieved (a) from **Windsat** microwave polarization measurements at 09:35 UTC and (b) from **MetOp** scatterometer data at 13:15 UTC on 18 September. Color scale in knots.

Fanapi 18 September

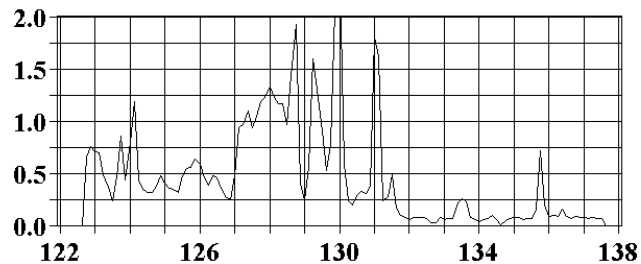
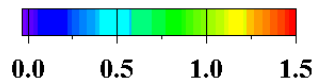
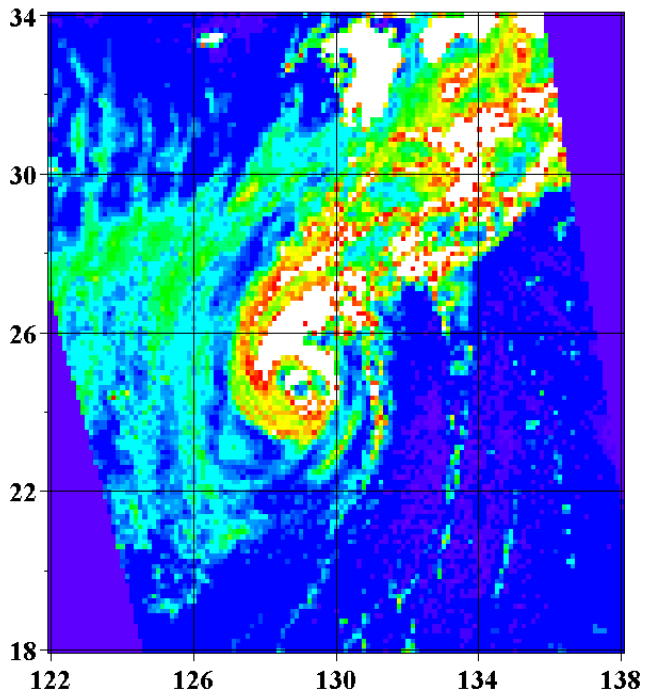


Aqua AMSR-E at 17:30 UTC on 18 September 2010 : brightness temperatures: (a) TB(11H), (b) TB(24V), (c) TB(36V), (d) water vapor content, (e) cloud liquid water content and (f) wind speed

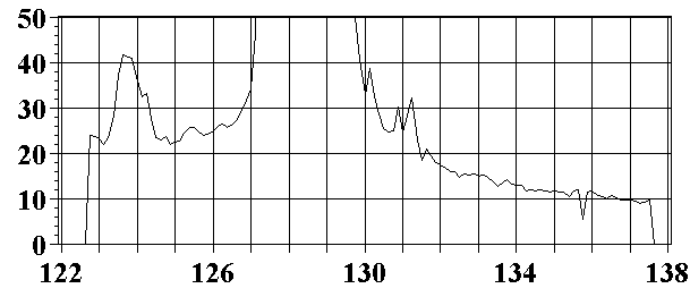
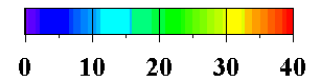
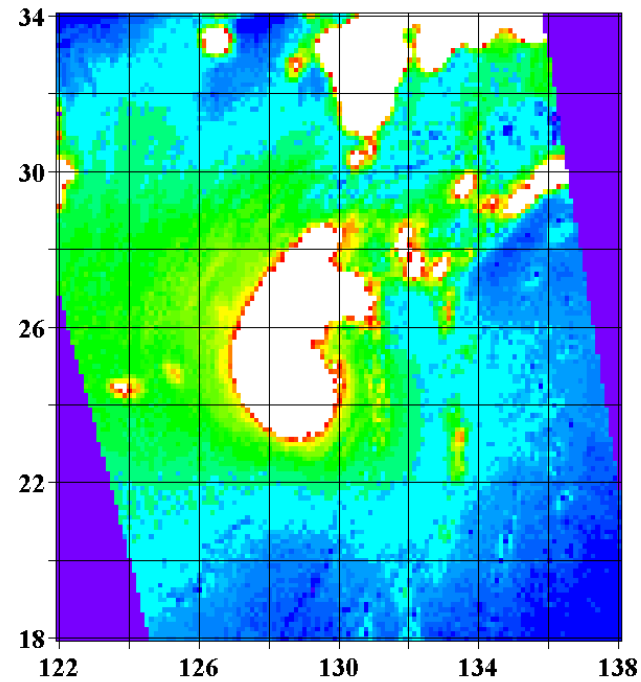
Fanapi. 18 September 2010. 17:30 UTC



Тайфун Чабэ 28 октября 2010

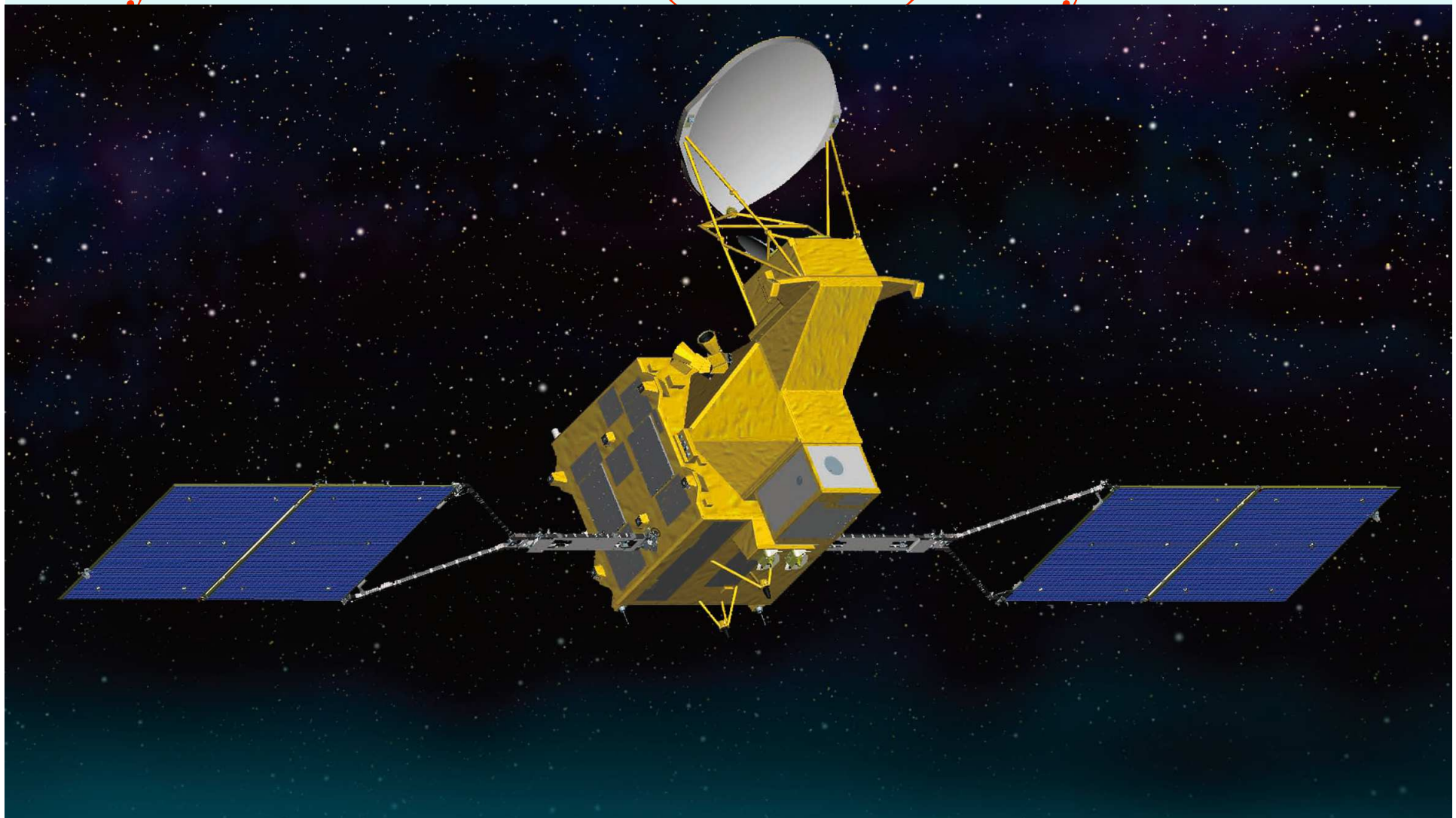


Cloud section 24.5N (kg/m²) 28 Oct 2010 213A



Wind section 24.5N (m/s) 28 Oct 2010 213A

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



Усовершенствованный микроволновый сканирующий радиометр **AMSR2** для наблюдения 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 $T_{\text{Яок}}(11\text{Г})$, относительно $T_{\text{Яок}}$ при штиле. Вклад излучения атмосферы в яркостную температуру $T_{\text{Я}}(11\text{Г})$, регистрируемую AMSR-E, находится по значениям поглощения в облаках и паросодержания атмосферы V , которые определяются по $T_{\text{Я}}(24\text{В})$ и $T_{\text{Я}}(36\text{В})$
2. Алгоритм настроен и применен к анализу погодных систем над тропической зоной Тихого океана. Поля ветра по данным AMSR-E находятся в хорошем согласии с полями ветра, восстановленными по данным скаттерометра SeaWinds (спутник QuikSCAT).
3. Следует продолжить теоретические и экспериментальные исследования зависимости микроволновых коэффициентов излучения взволнованной морской поверхности от характеристик приводного ветра и других геофизических параметров, включая пространственные вариации излучения, необходимые для учета пространственного сглаживания.

**Работа выполнена при
поддержке гранта **РФФИ 09-05-13569-офи_ц**,
договора **4/09 программы «Мировой океан»** и по
соглашению между Японским аэрокосмическим
исследовательским агентством **ЈАХА** по спутнику
GCOM-W1 (проект 111) и **ТОИ ДВО РАН****