

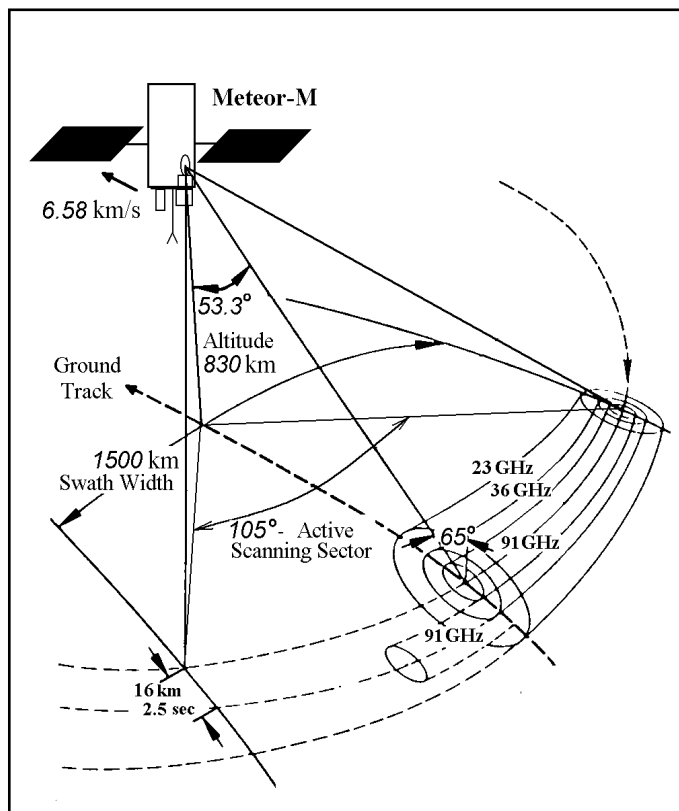
Митник Л.М.
ТОИ ДВО РАН, Владивосток

**Микроволновый
радиометр
МТВЗА-ГЯ
и вопросы его
калибровки**

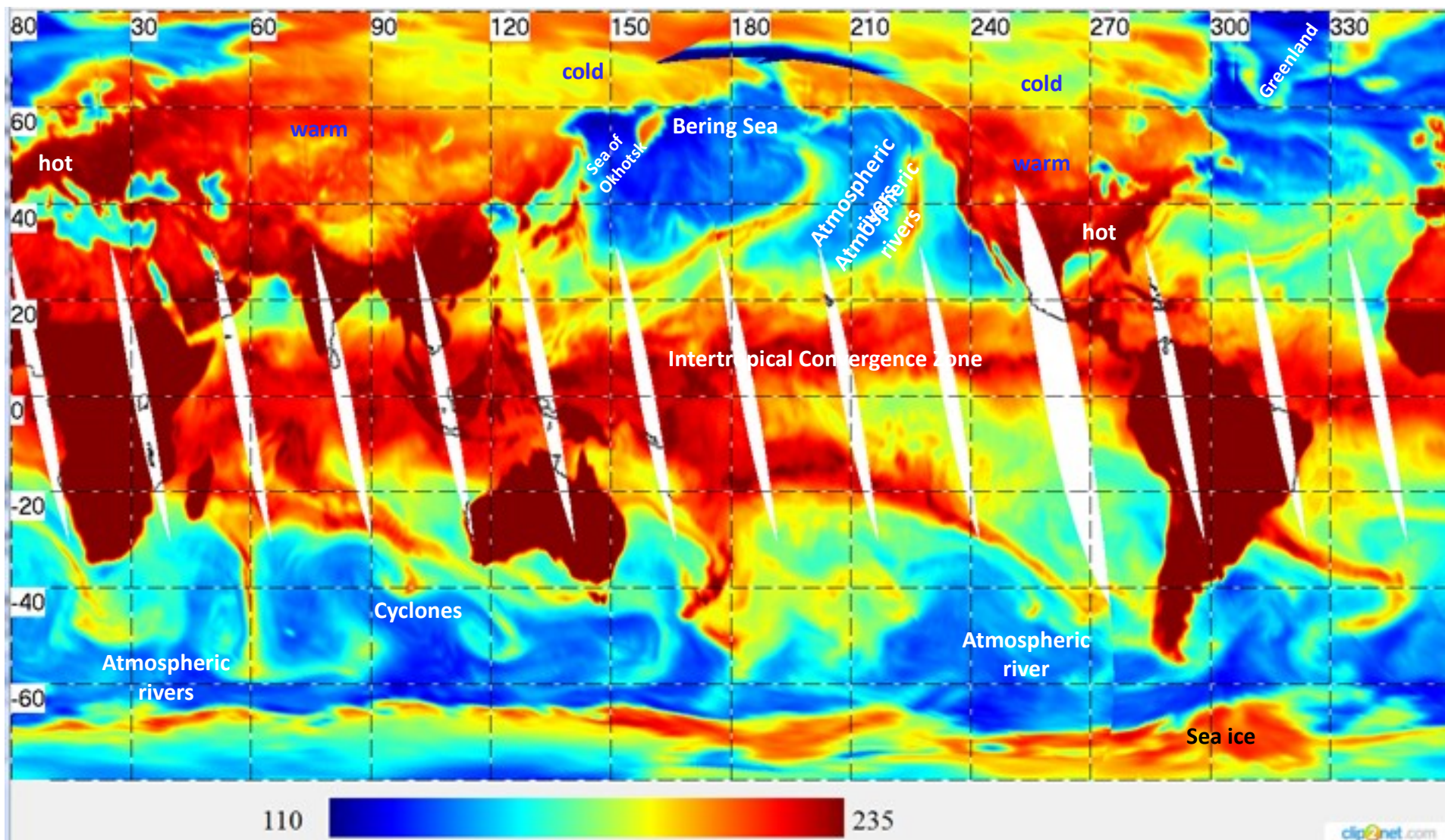


Физические основы микроволнового зондирования

Семинар отдела 55 ИКИ РАН
2 декабря 2021 года 13 часов

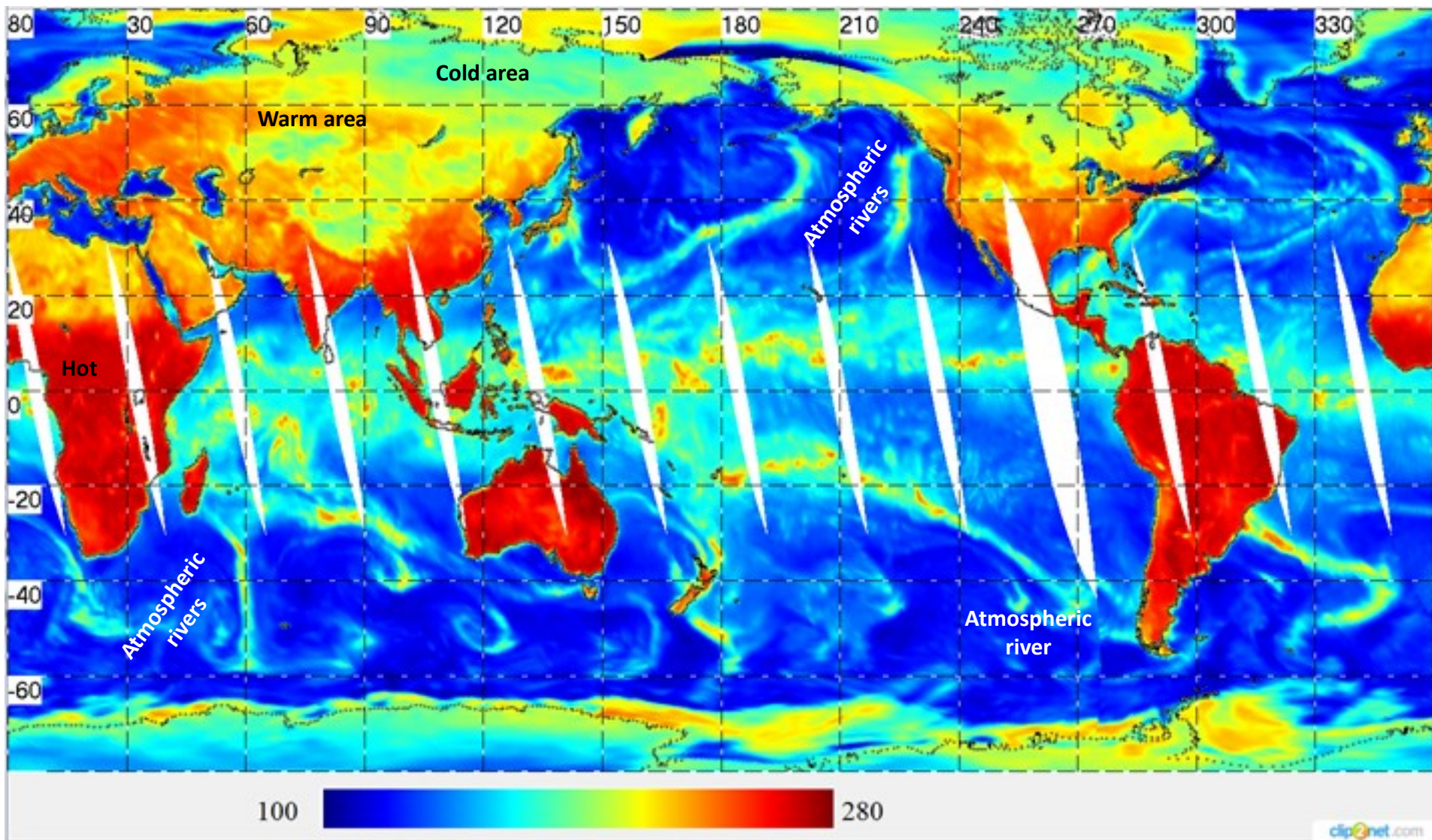


MTVZA-GY, TB23H, 17 December 2019



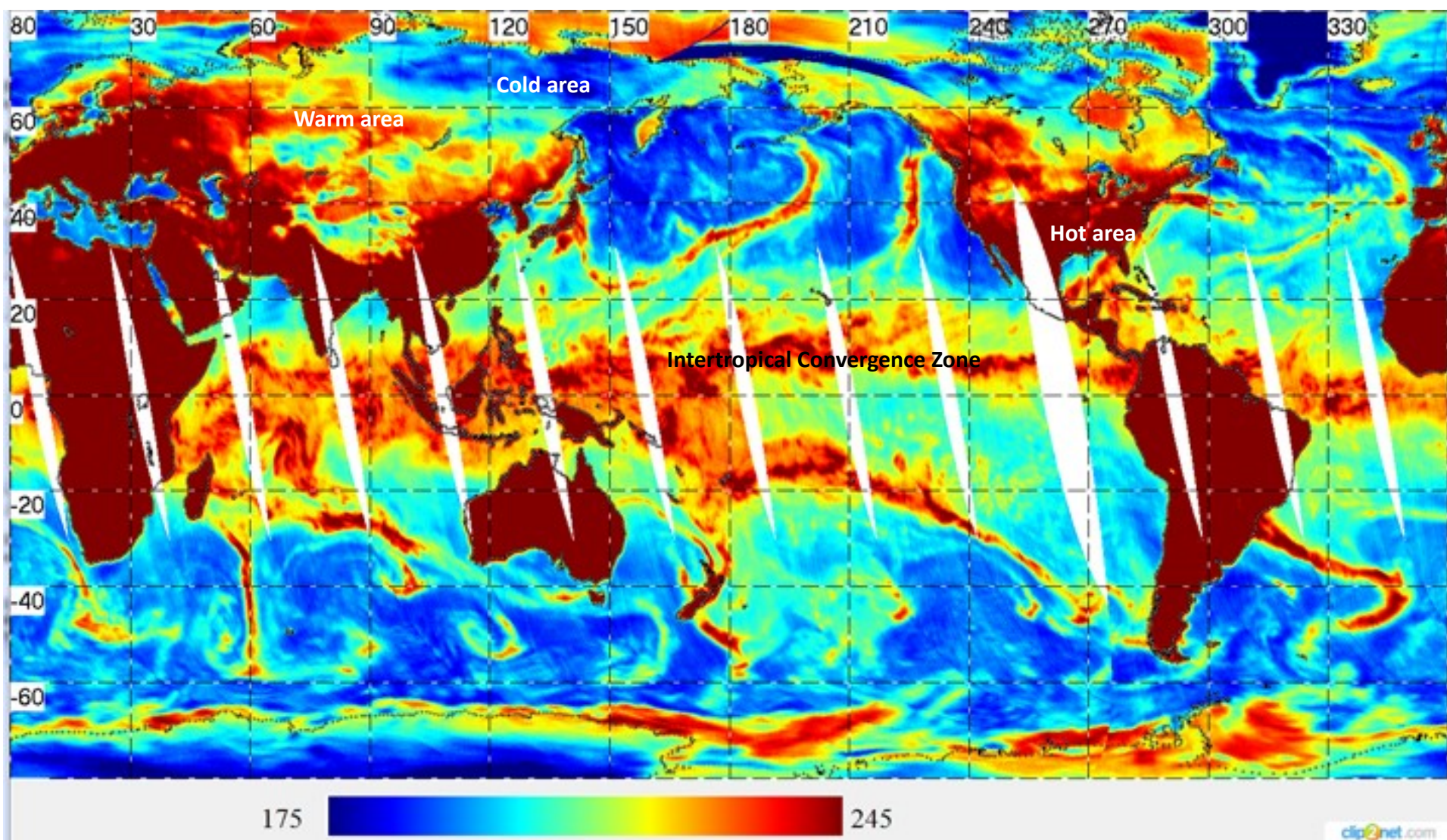
Brightness temperature (K)

MTVZA-GY, TB(31.5H), 17 December 2019

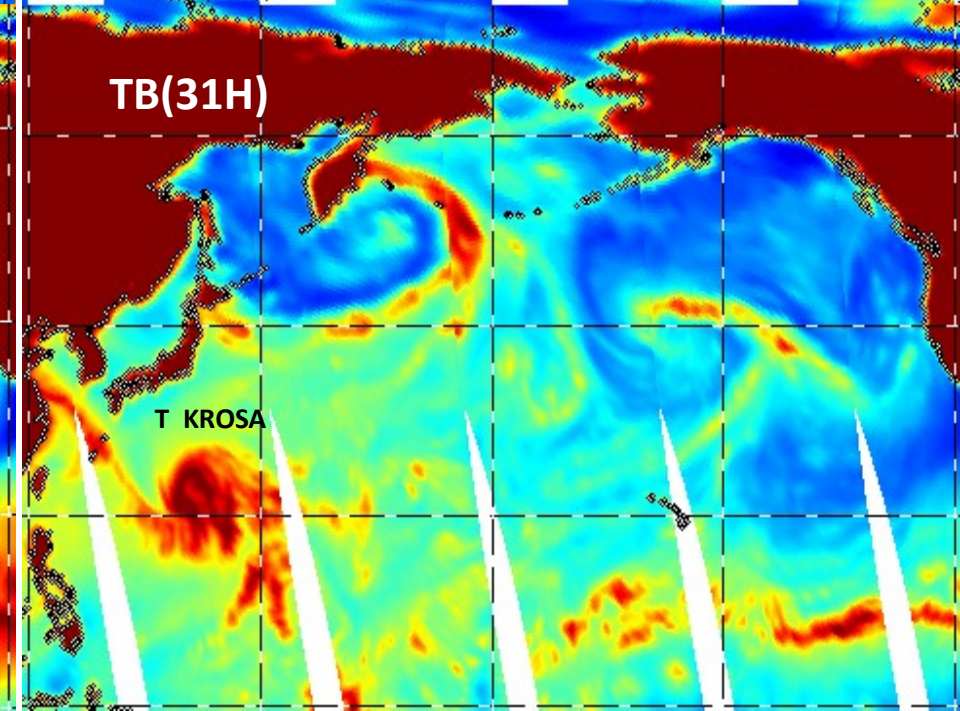
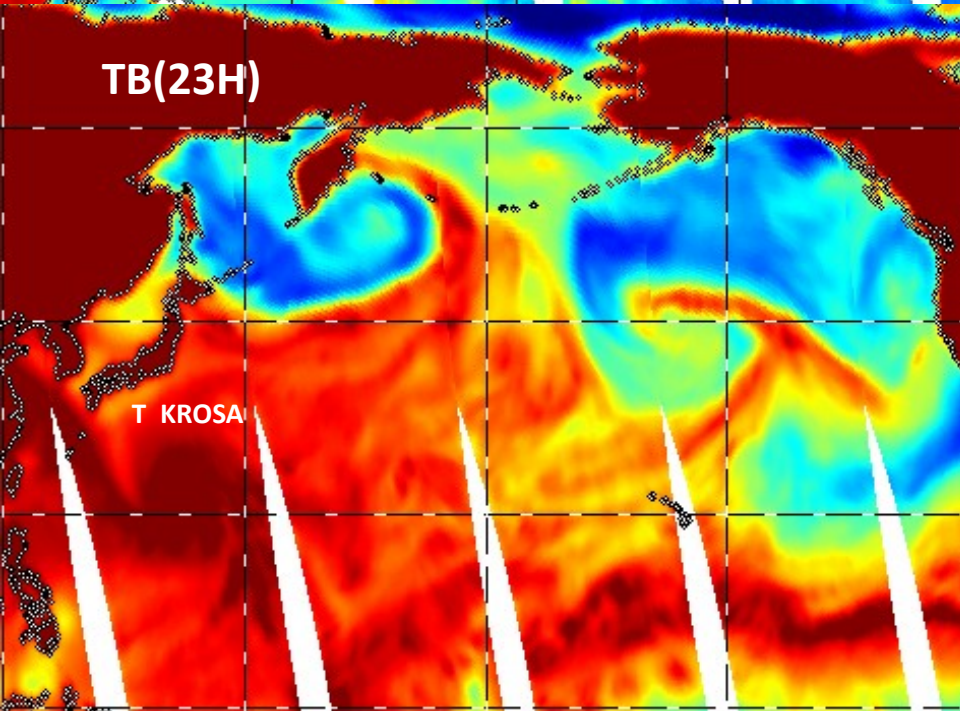
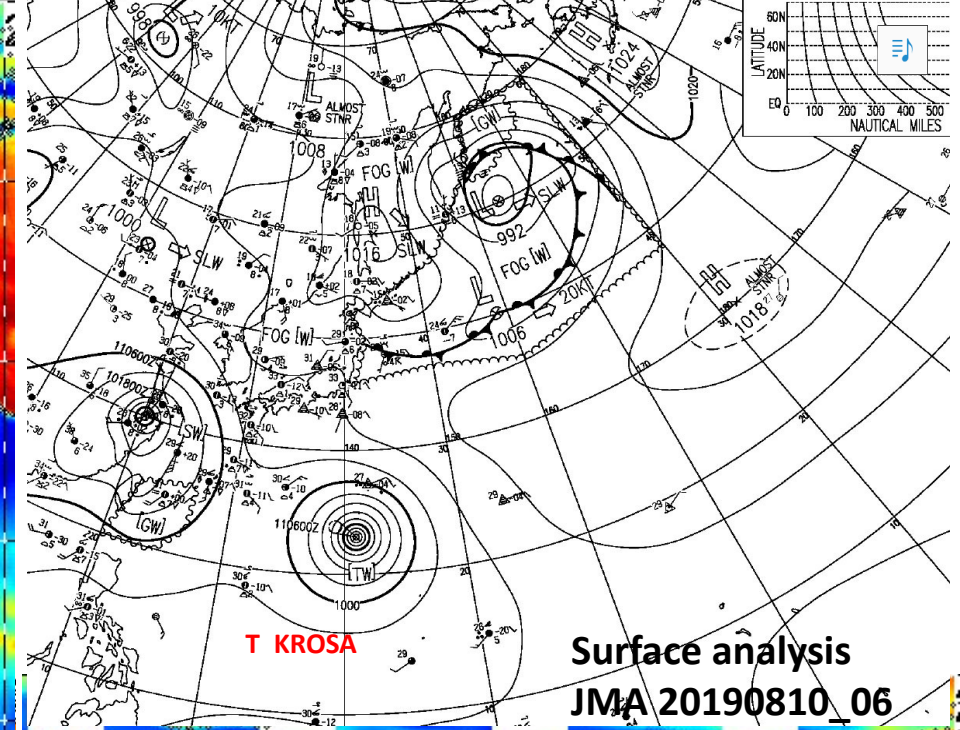
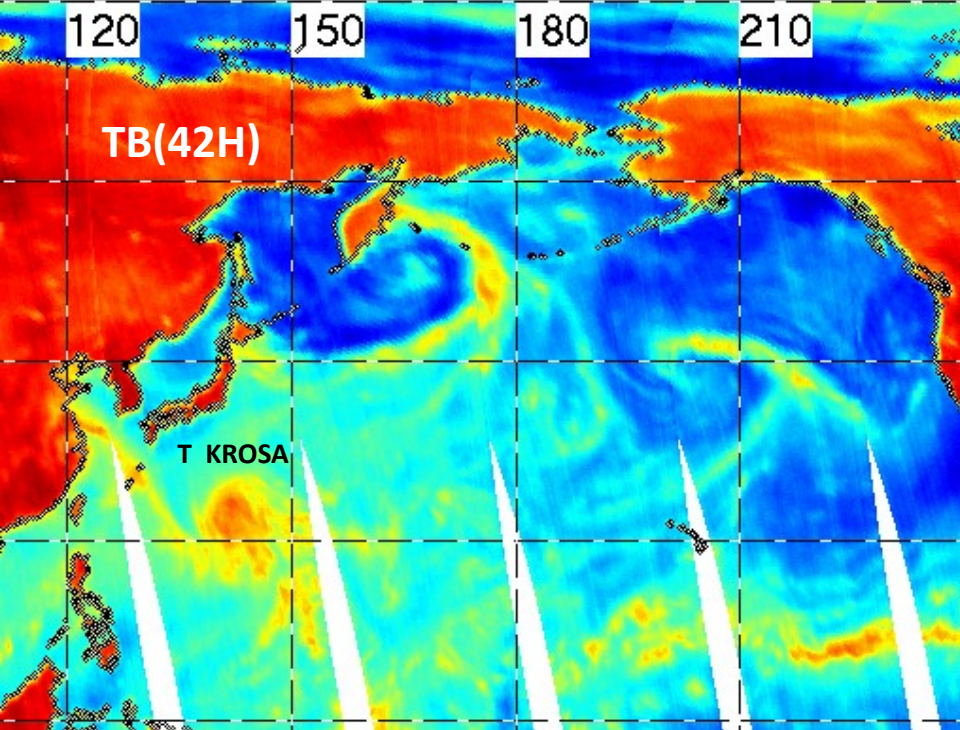


Brightness temperature (K)

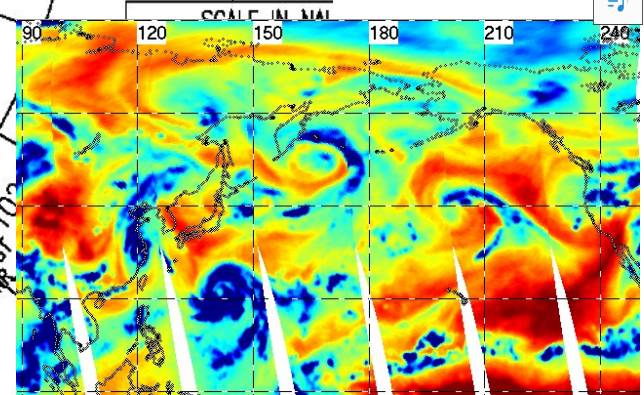
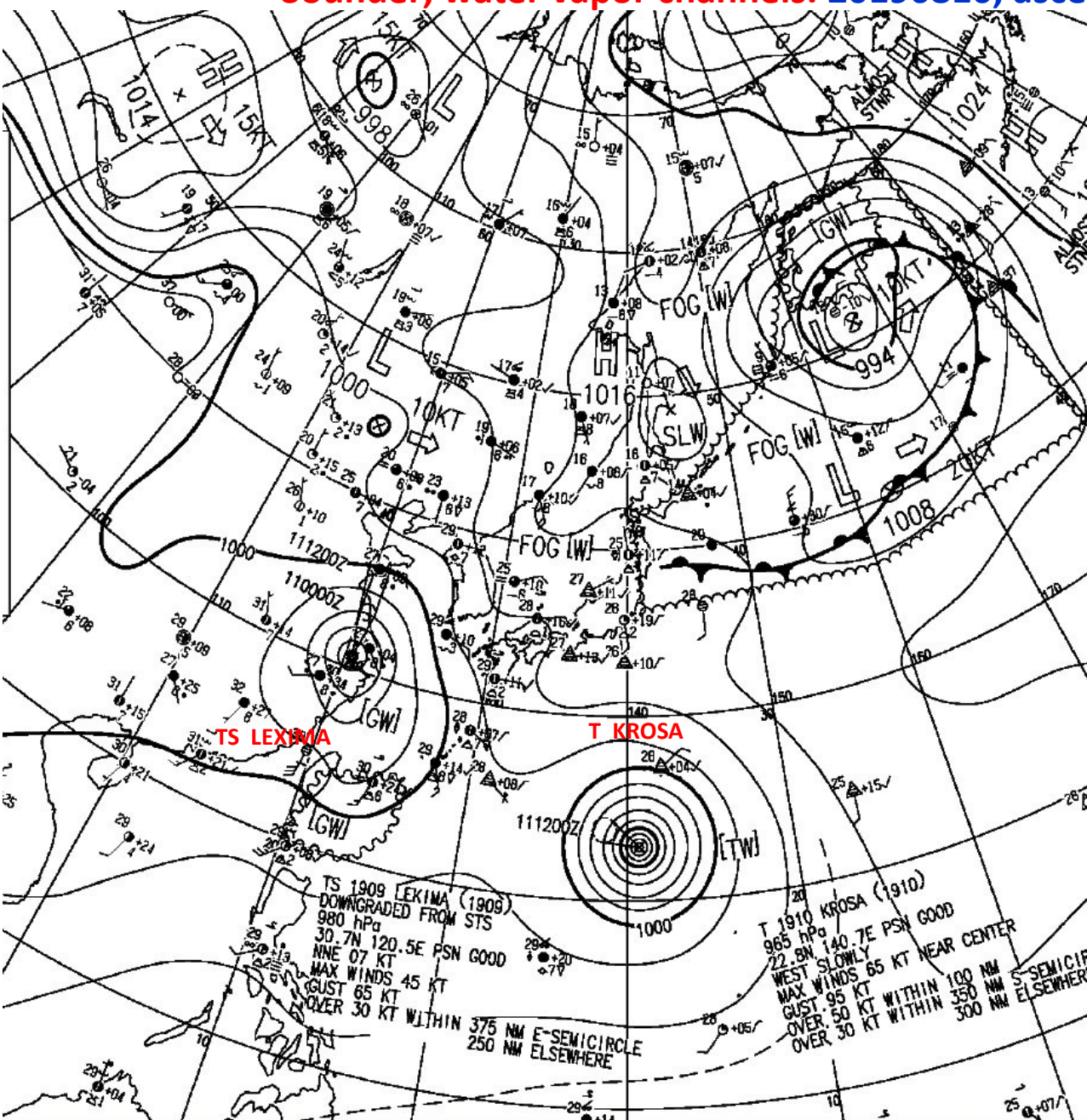
MTVZA-GY, TB(42H), 17 December 2019



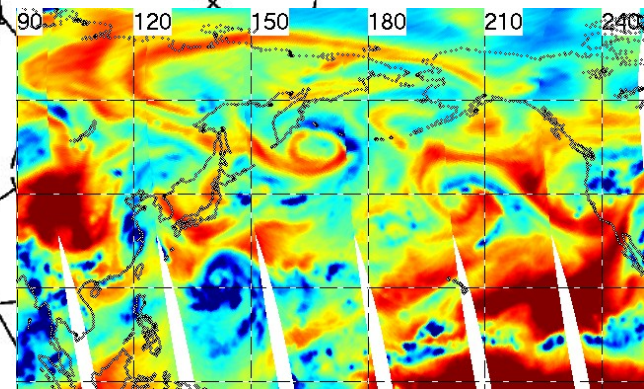
Brightness temperature (K)



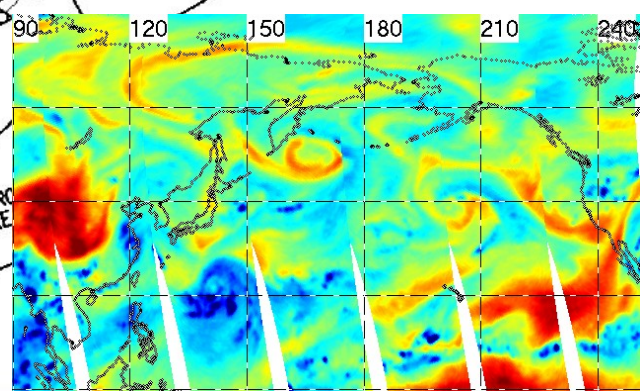
Sounder, water vapor channels. 20190810, ascending orbits $183.31 \pm 7 \text{ GHz}$



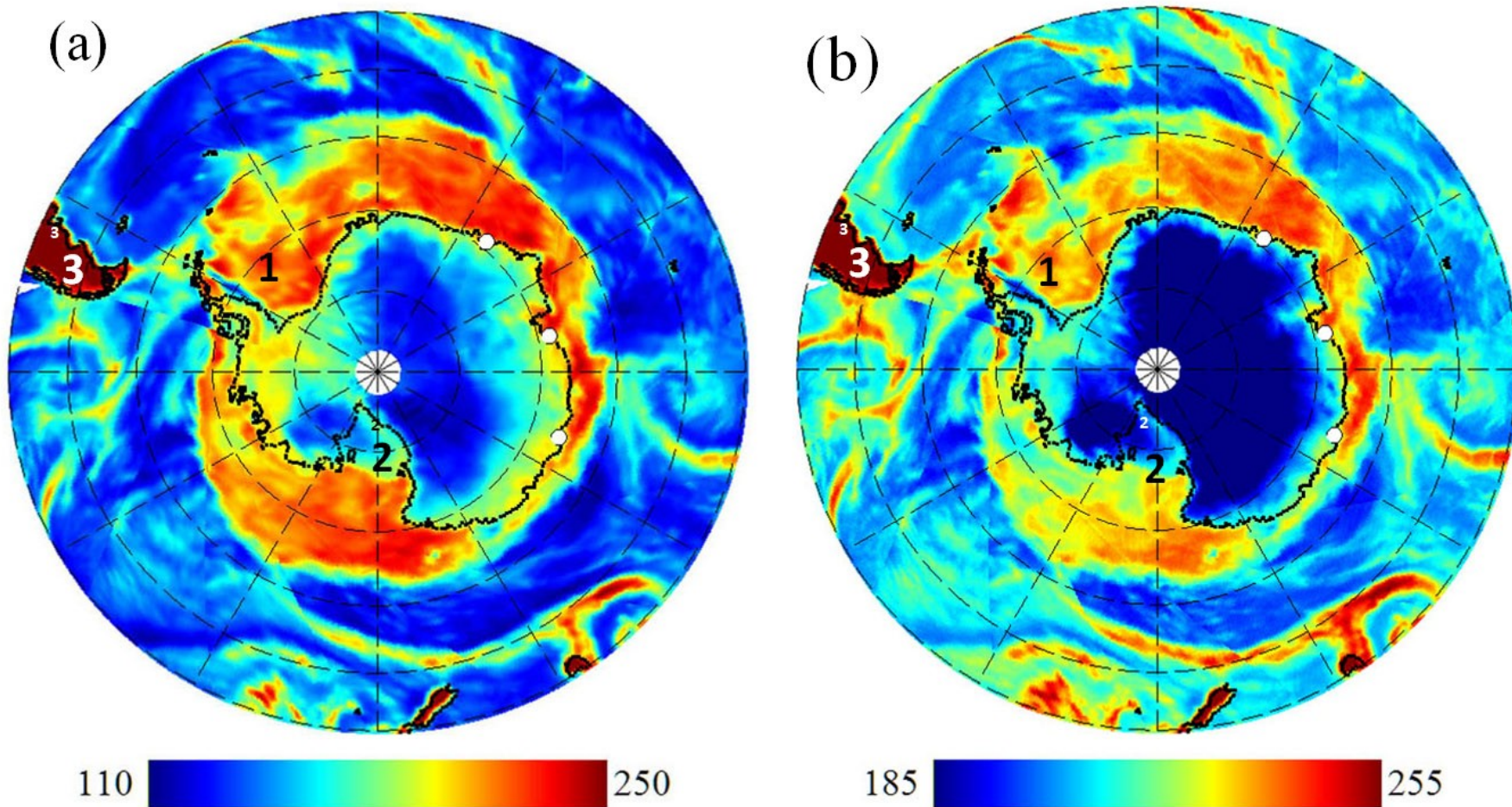
$183.31 \pm 3 \text{ GHz}$



$183.31 \pm 1.4 \text{ GHz}$



Surface analysis, Japan Meteorological Agency, 20190810 12:00



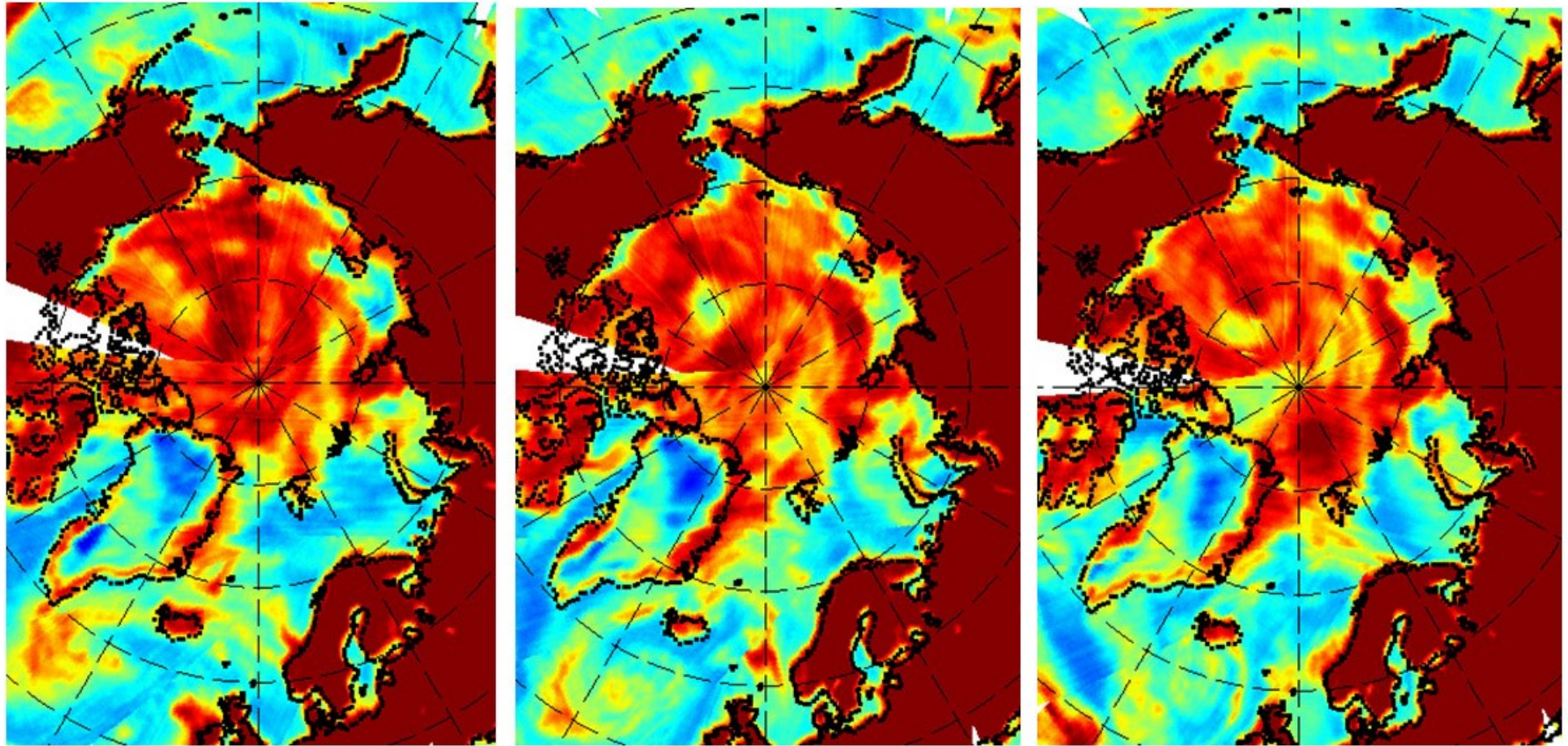
Brightness temperature (K)

The Southern polar region of the Earth in winter as measured by the MTVZA-GY radiometer at 23.8 GHz (a) and at 48.0 GHz (b) with horizontal polarization on November 11, 2020: 1 – Weddell Sea, 2 – Ross Sea, 3 – South America

(a)

(b)

(c)



140

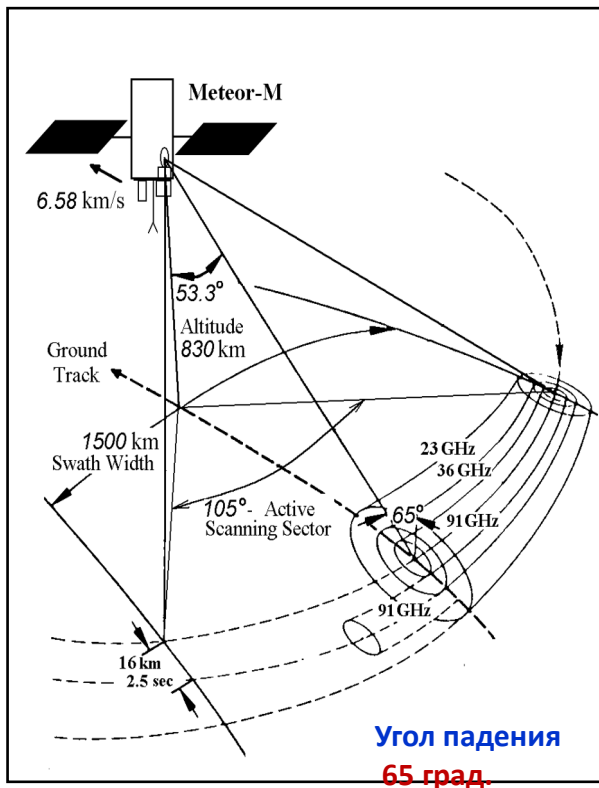


250

Brightness temperature (K)

Microwave images of Greenland and the Arctic Ocean at 42 GHz with horizontal polarization acquired on: (a) June 22, (b) June 23 and (c) June 24, 2020

МТВЗА-ГЯ - Микроволновый Температурно-Влажностный Зондировщик Атмосферы



Частота, ГГц	Поле зрения, км × км	Размер пикселя, км × км
6.9	133 x 297	32 x 32
10.6	89 x 198	32 x 32
18.7	52 x 116	32 x 32
23.8	42 x 94	32 x 32
31.5	35 x 76	32 x 32
36.5	30 x 67	32 x 32
42.0	26 x 60	32 x 32
48.0	24 x 43	32 x 32
91.65	14 x 30	16 x 16
10.6	89 x 198	32 x 32
18.7	52 x 116	32 x 32
23.8	42 x 94	32 x 32
31.5	35 x 76	32 x 32
36.5	30 x 67	32 x 32
42.0	26 x 60	32 x 32
48.0	24 x 43	32 x 32
91.65	14 x 30	16 x 16

Ширина полосы обзора 2500 км, но из-за затенения солнечными панелями 1500 км
Чувствительность каналов радиометра в космосе $\approx 0,3-0,5$ К/пиксель.

Метеор-М № 2, июль 2014 -16 авг 2017

Метеор-М № 2, июль 2019 – по наст. время

Mitnik L., Kuleshov V., Mitnik M. et al. Microwave scanner sounder MTVZA-GY on new Russian meteorological satellite Meteor-M N 2: modeling, calibration and measurements // IEEE J. Selected Topics in Appl. Earth Observ. and Remote Sensing. 2017. V.10. N.7. P. 3036-304.

Чернявский Г.М., Митник Л.М., Кулешов В.П., Митник М.Л., Черный И.В. Микроволновое зондирование океана, атмосферы и земных покровов по данным спутника Метеор-М № 2 // Современ. проблемы дистанц. зондир. Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 4. С. 78-100

52.80/V (O1)

53.30/V (O2)

53.80/V (O3)

54.64/V (O4)

55.63/V (O5)

$v_0 \pm 0.1/H$ (O6)

$v_0 \pm 0.05/H$ (O7)

$v_0 \pm 0.025/H$ (O8)

$v_0 \pm 0.01/H$ (O9)

$v_0 \pm 0.005/H$ (O10)

Водяной пар

$183.31 \pm 7.0/V$ (H1)

$183.31 \pm 3.0/V$ (H2)

$183.31 \pm 1.4/V$ (H3)

Внешняя калибровка

Моделирование Тя атмосферы, коэффициентов излучения земных покровов, выбор тестовых участков, разработка алгоритмов восстановления параметров по модельным Тя и их валидация, оценка стабильности функционирования радиометра в полете

Яркостная температура системы подстилающая поверхность-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 – термодинамическая температура, а κ – коэффициент излучения поверхности, $T(h)$ – температура воздуха на высоте h , H – высота спутника,

$\tau_o = \int_0^\infty \gamma(h) dh$ – полное поглощение атмосферы,

$\gamma(h)$ – коэффициент поглощения,

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

Горячая внешняя калибровка

Влажные широколиственные леса Амазонки

Коэффициенты излучения леса - из статей с учетом частоты, угла падения, поляризации, сезона и местного времени. *Температура на уровне крон*

Спектр коэффициента излучения содержит богатую информацию о состоянии земных покровов

Растительные покровы

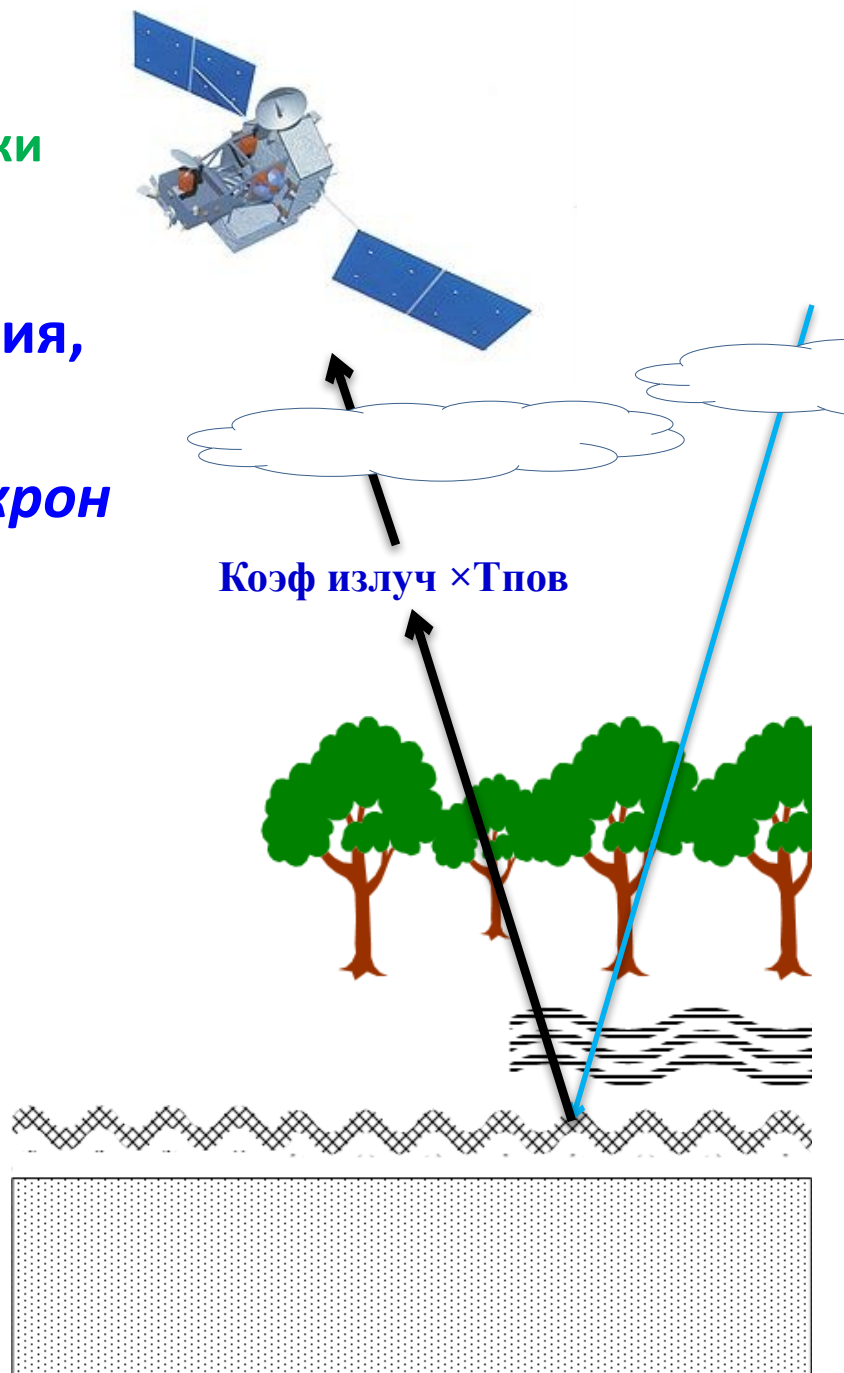
(Choudhury et al., 1987; Owe et al., 2001; Joseph et al., 2010; Kurum et al., 2012)

Снег

(Pulliainen et al., 1999; Tedesco and Kim, 2006; Foster et al., 2009)

Влажность почвы

(Njoku and O'Neill, 1982; O'Neill et al., 2011)



Горячая внешняя калибровка

Влажные широколиственные леса Амазонки

- Строятся поля антенных температур на В- и Г-поляризациях, поляризационной разности $\Delta T = T_v - T_g$ и поляризационного отношения $\rho = (T_v - T_g)/(T_v + T_g)$ на $\nu > 10$ ГГц.

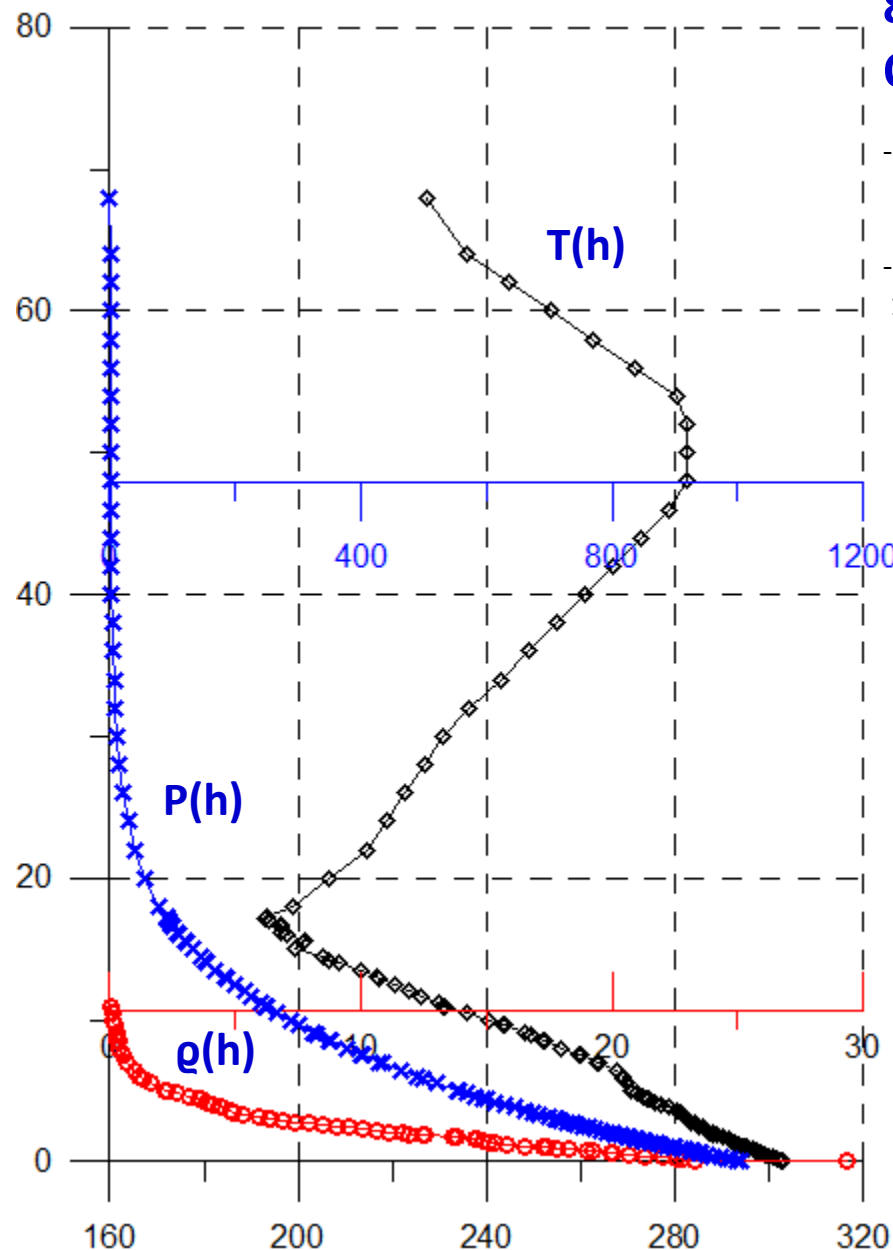
Время – близкое к 0 и 12 Гр.

Влияние на излучение пов-ти (влажности почвы, болот, рек, озер) на T_{vg} , T_{av} и на ρ . Максимально проявляется $\nu = 10,7$ ГГц

- В областях с минимальными ΔT , ρ выбираются участки, где нет *мощной облачности и осадков* (нет рассеяния излучения - понижения T_{av} на высоких частотах).
- Анализируются профили относит. влажности и температуры радиозондов на станциях 80398, 81405, 82332, 8296.

Радиозондовые профили

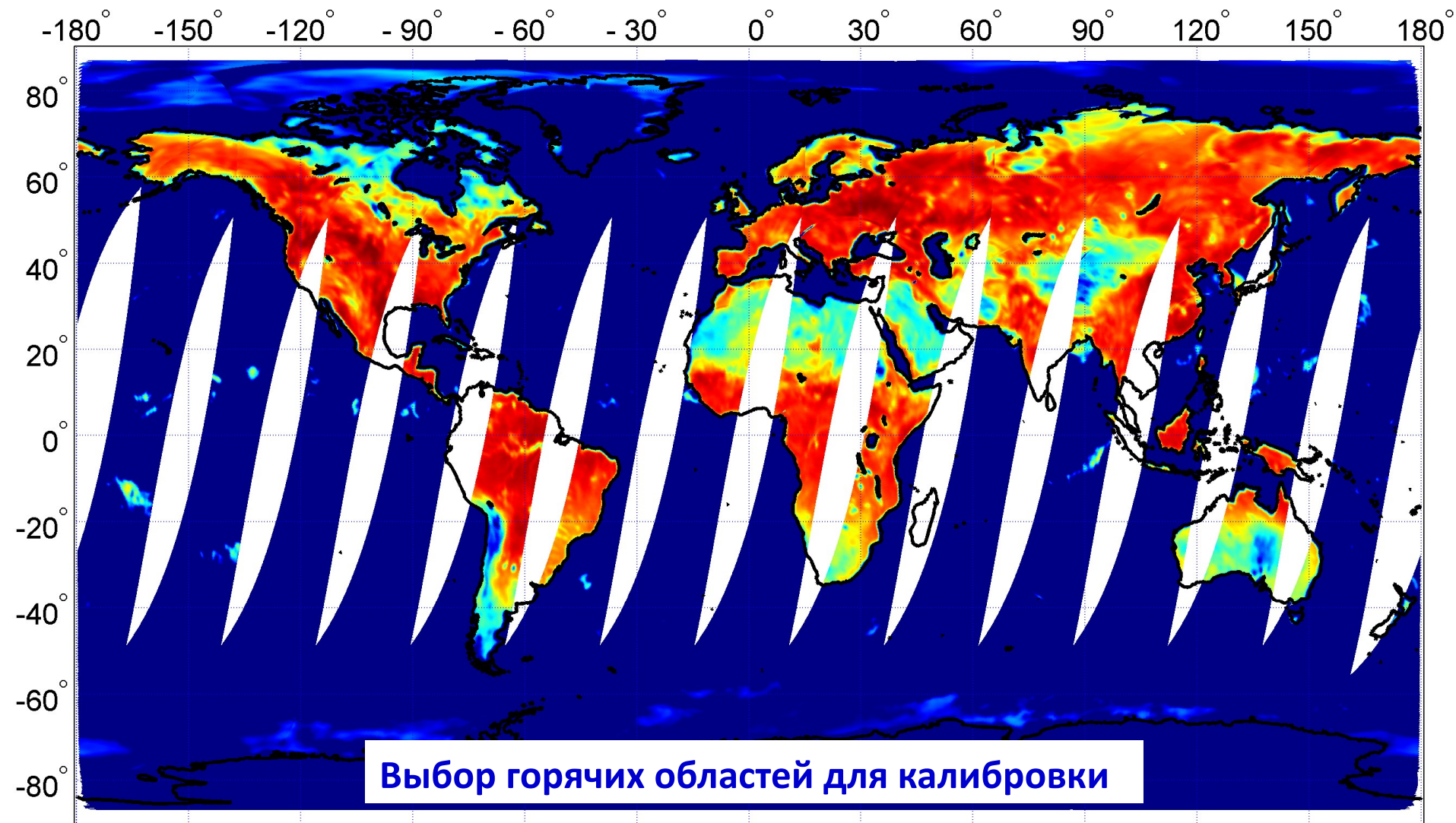
University of Wyoming - Radiosonde Data 82824 SBPV Porto Velho (Aeroporto) Observations at 00Z 26 Aug 2014



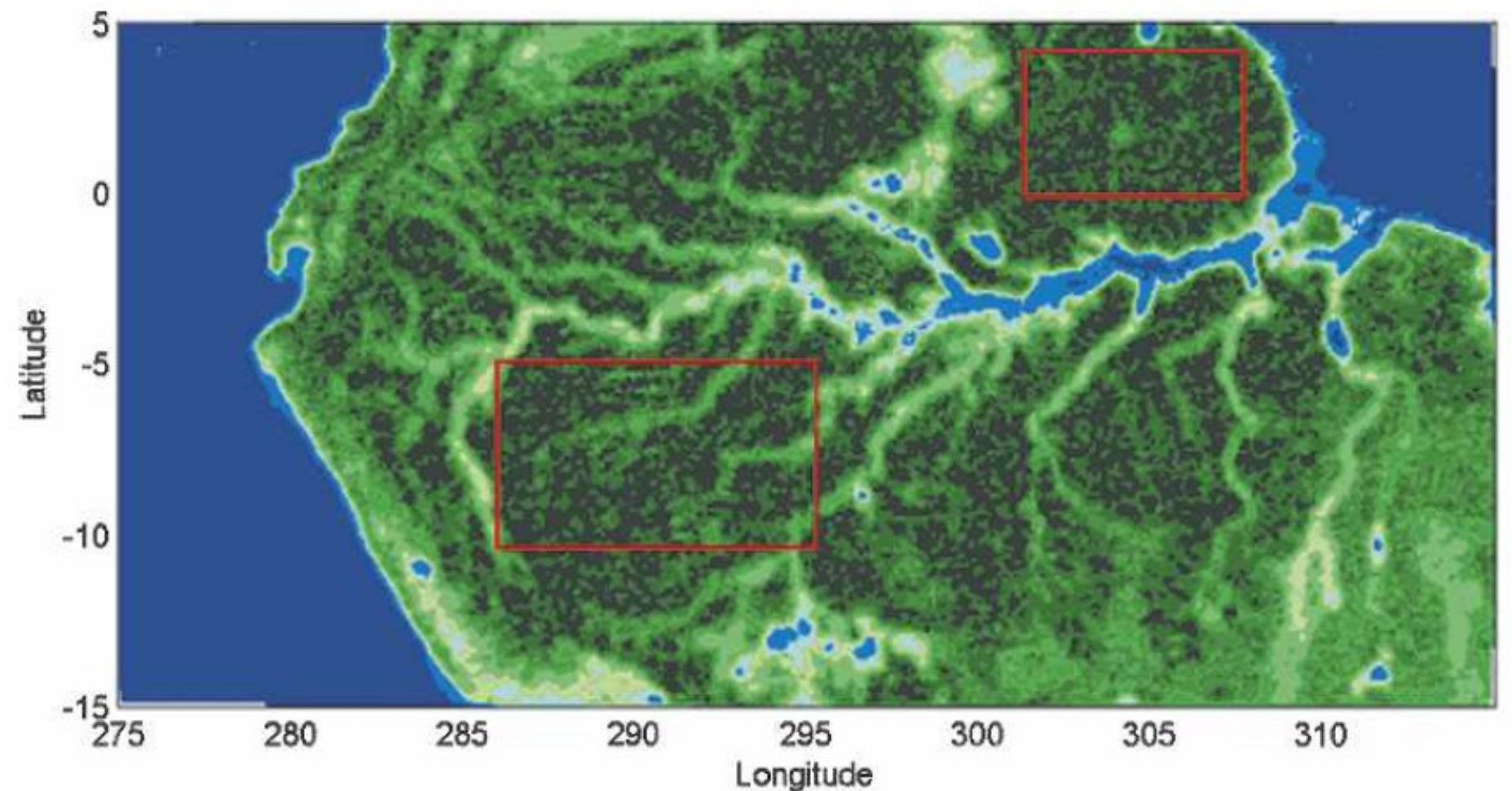
PRES hPa	HGHT m	TEMP C	DWPT C	RELH %	MIXR g/kg	DRCT deg	SKNT knot	THTA K	THTE K	THTV K
1000.0	71									
998.0	102	25.0	18.0	65	13.18	0	0	298.3	336.9	300.7
992.0	154	28.8	19.8	58	14.88	5	1	302.6	346.9	305.3
981.0	252	29.8	18.8	52	14.12	15	2	304.6	347.0	307.2
925.0	766	26.8	18.8	62	15.00	65	7	306.7	352.1	309.5
871.0	1293	22.7	14.7	61	12.20	95	10	307.7	344.9	310.0
857.0	1435	21.6	13.6	60	11.52	85	10	308.0	343.2	310.1
850.0	1507	21.0	13.0	60	11.19	90	11	308.1	342.3	310.2
40.0	22041	-59.7	-88.3	1	0.00	80	15	535.4	535.4	535.4
39.6	22104	-59.1	-88.1	1	0.00	78	18	538.5	538.5	538.5
38.0	22360	-60.0	-88.8	1	0.00	70	30	542.5	542.5	542.5
36.0	22697	-61.3	-89.6	1	0.00	95	38	547.8	547.8	547.8
34.1	23034	-62.5	-90.5	1	0.00	92	42	553.1	553.1	553.1
30.0	23830	-59.3	-88.3	1	0.01	85	51	582.4	582.4	582.4
26.0	24737	-54.2	-85.1	1	0.01	90	48	621.2	621.3	621.2
25.8	24786	-53.9	-84.9	1	0.01			623.4	623.5	623.4

Precipitable water [mm] for
entire sounding: 44.22 kg/m²

МТВЗА-ГЯ, Та(31Г), 27 августа 2014



Горячая внешняя калибровка. Амазонка.

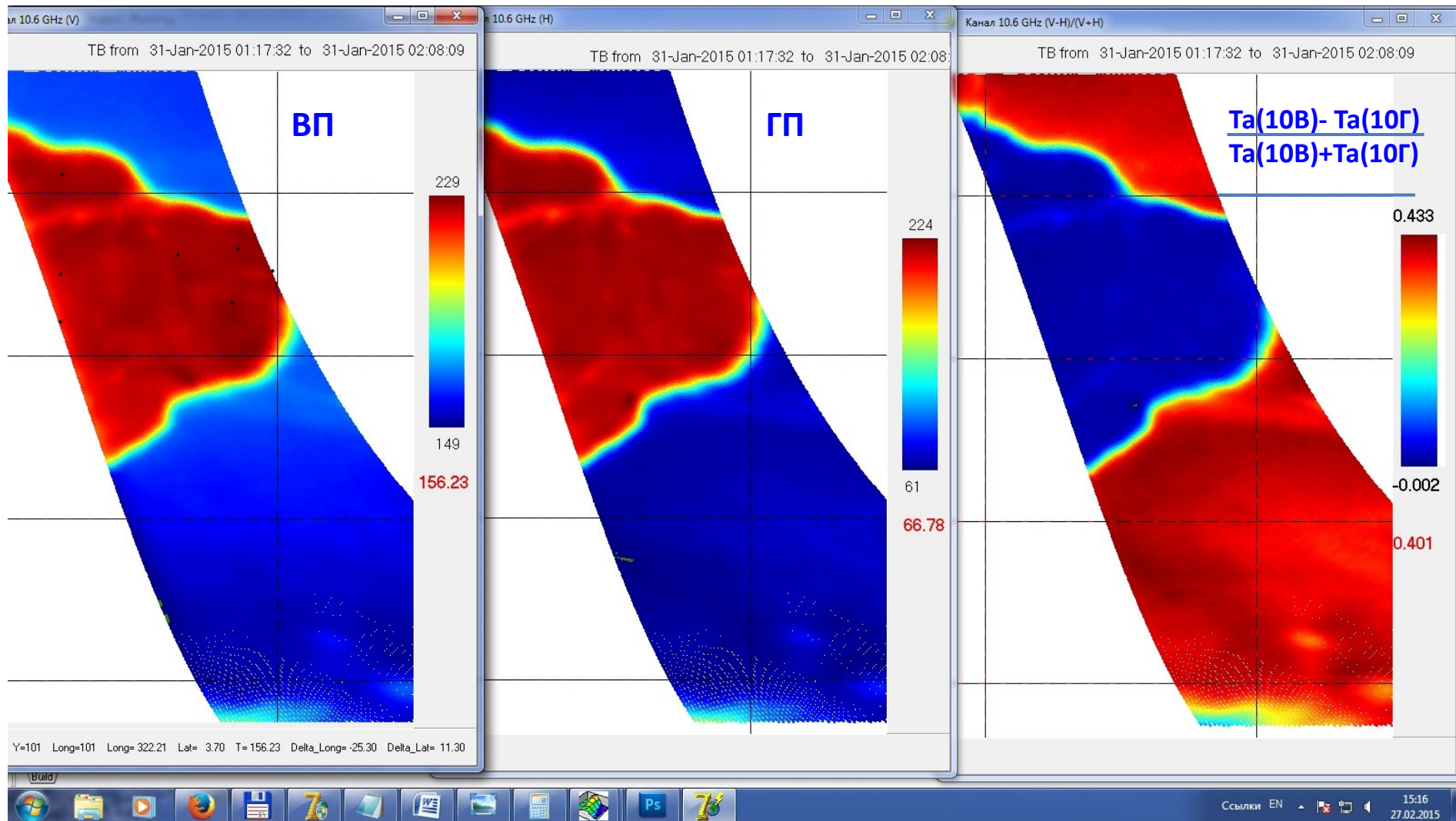


$T_{\text{я}}(37\text{В}) - T_{\text{я}}(37\text{Г}), \text{ К}$

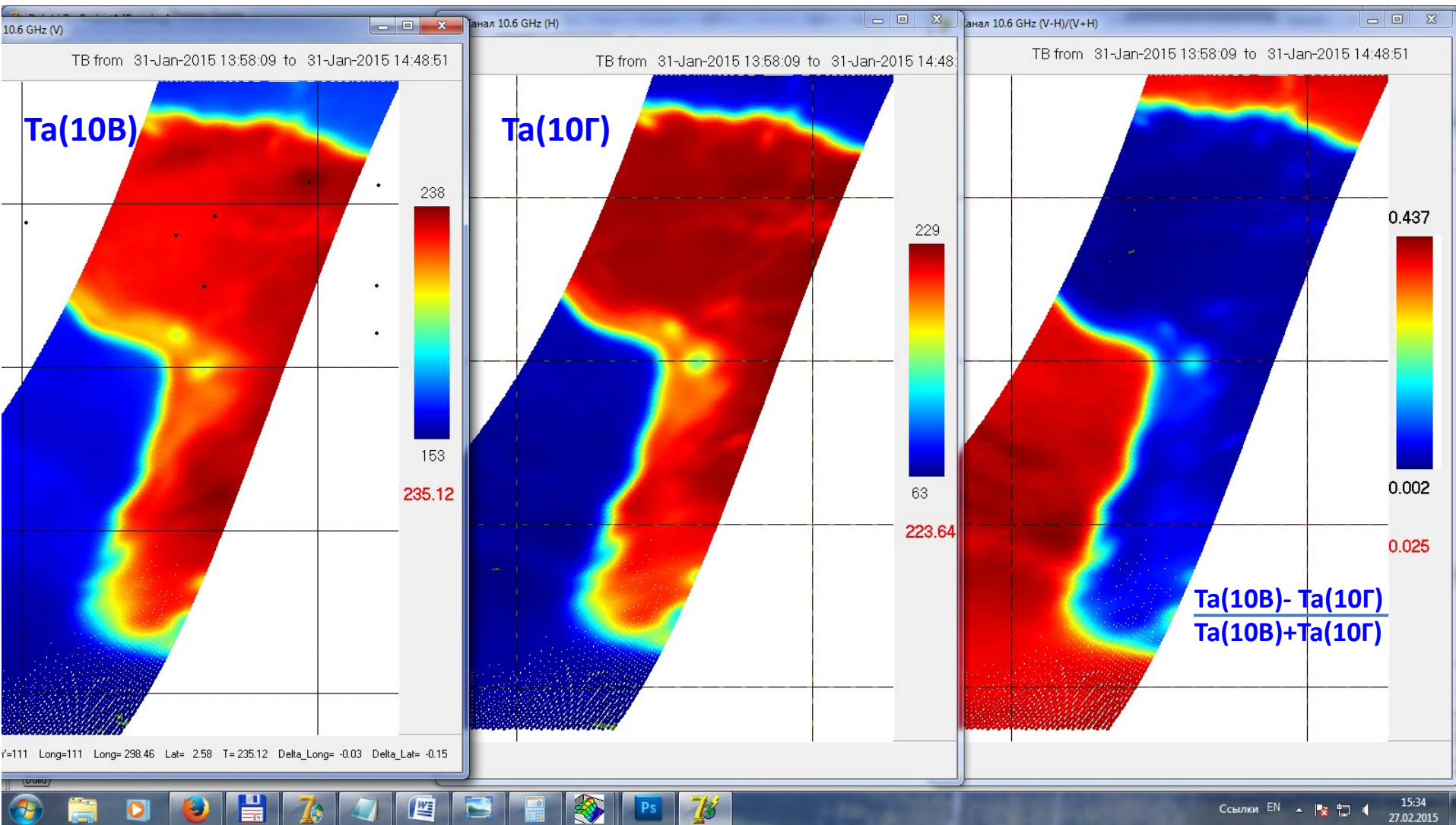
(Brown, Ruf, 2005; Prigent et al., 2008; Grody, Weng, 2008).



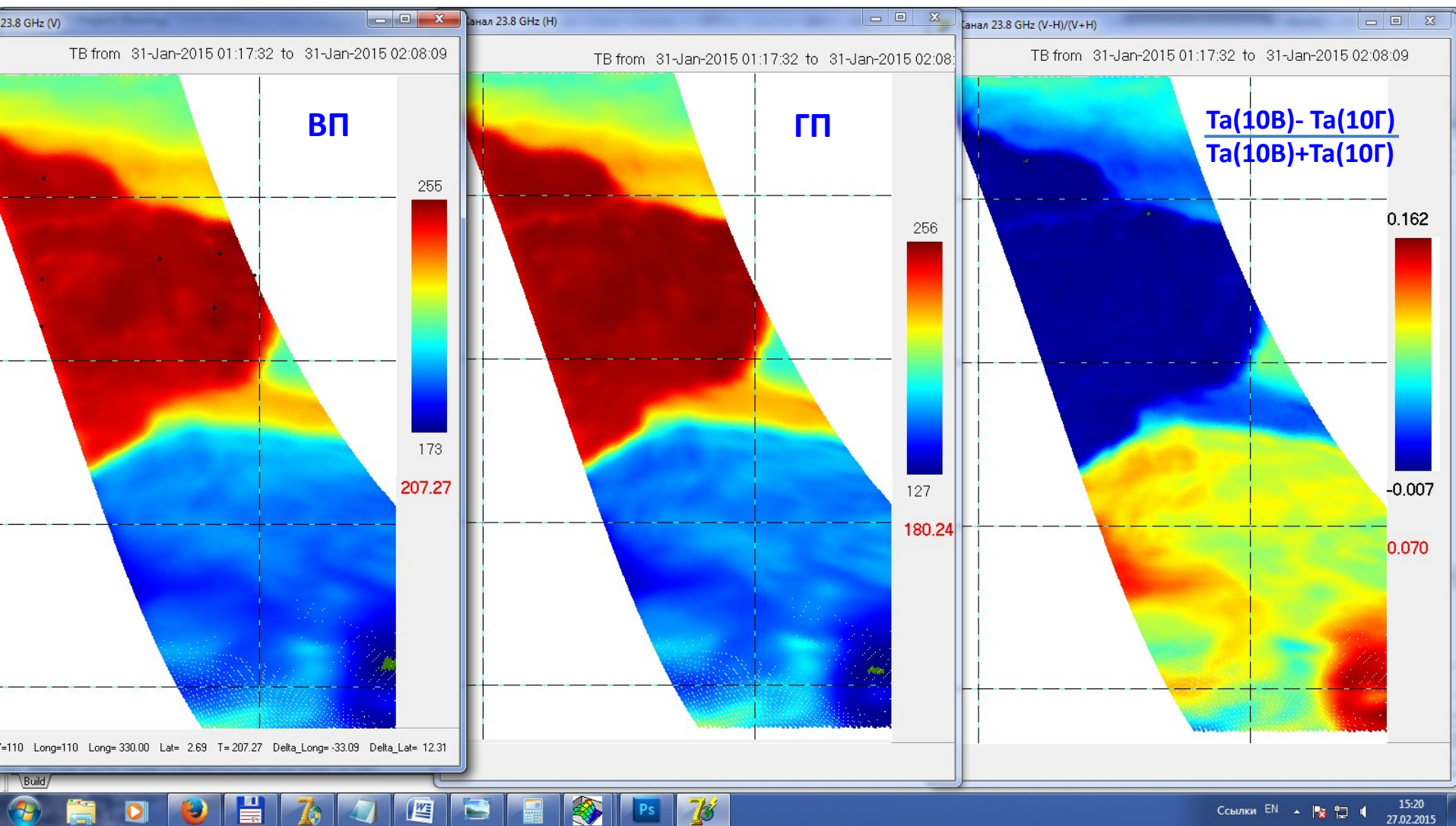
31 января 2015, МТВЗА-ГЯ, 10,6 ГГц



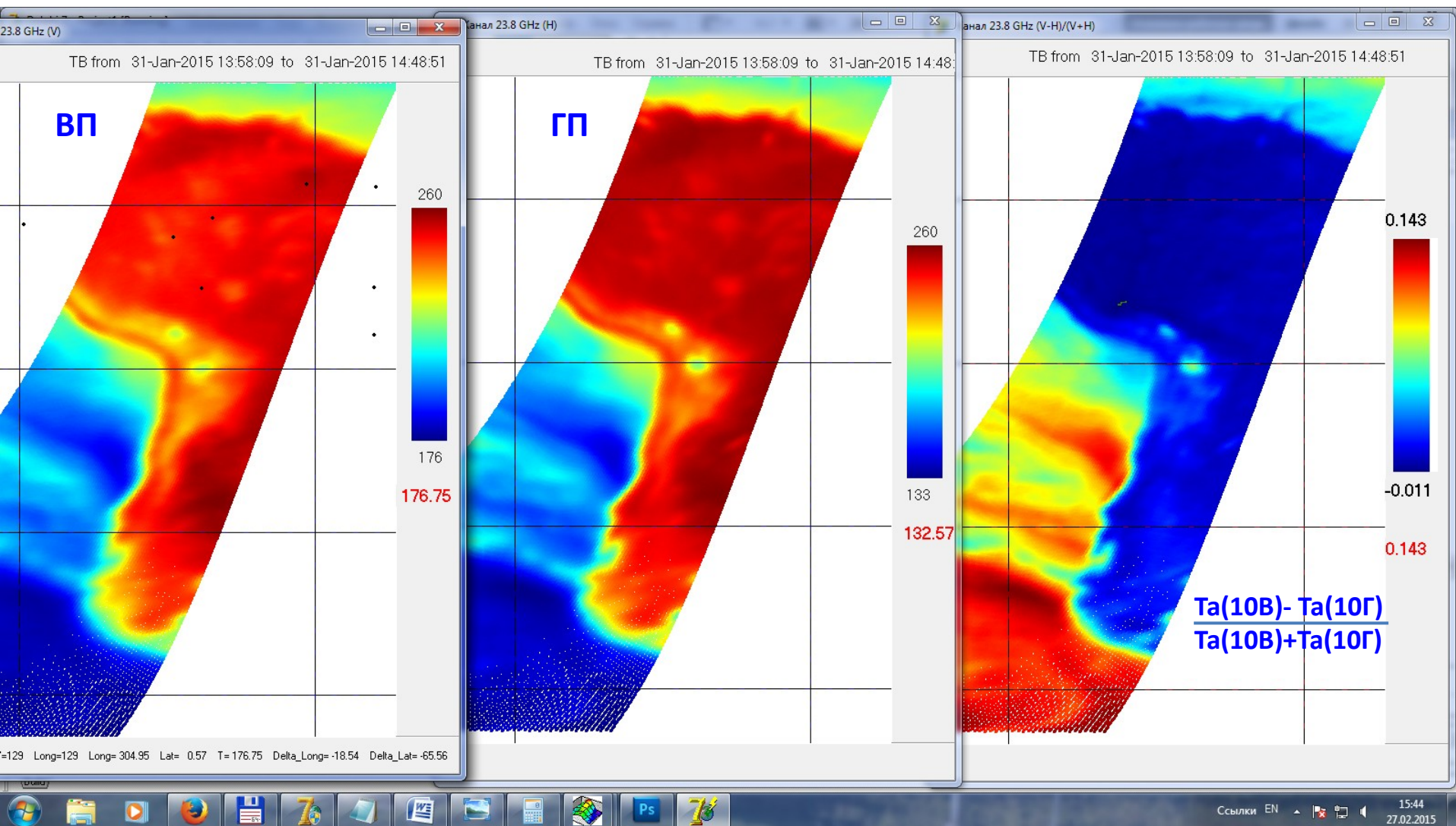
МТВЗА-ГЯ, 31 января 2015



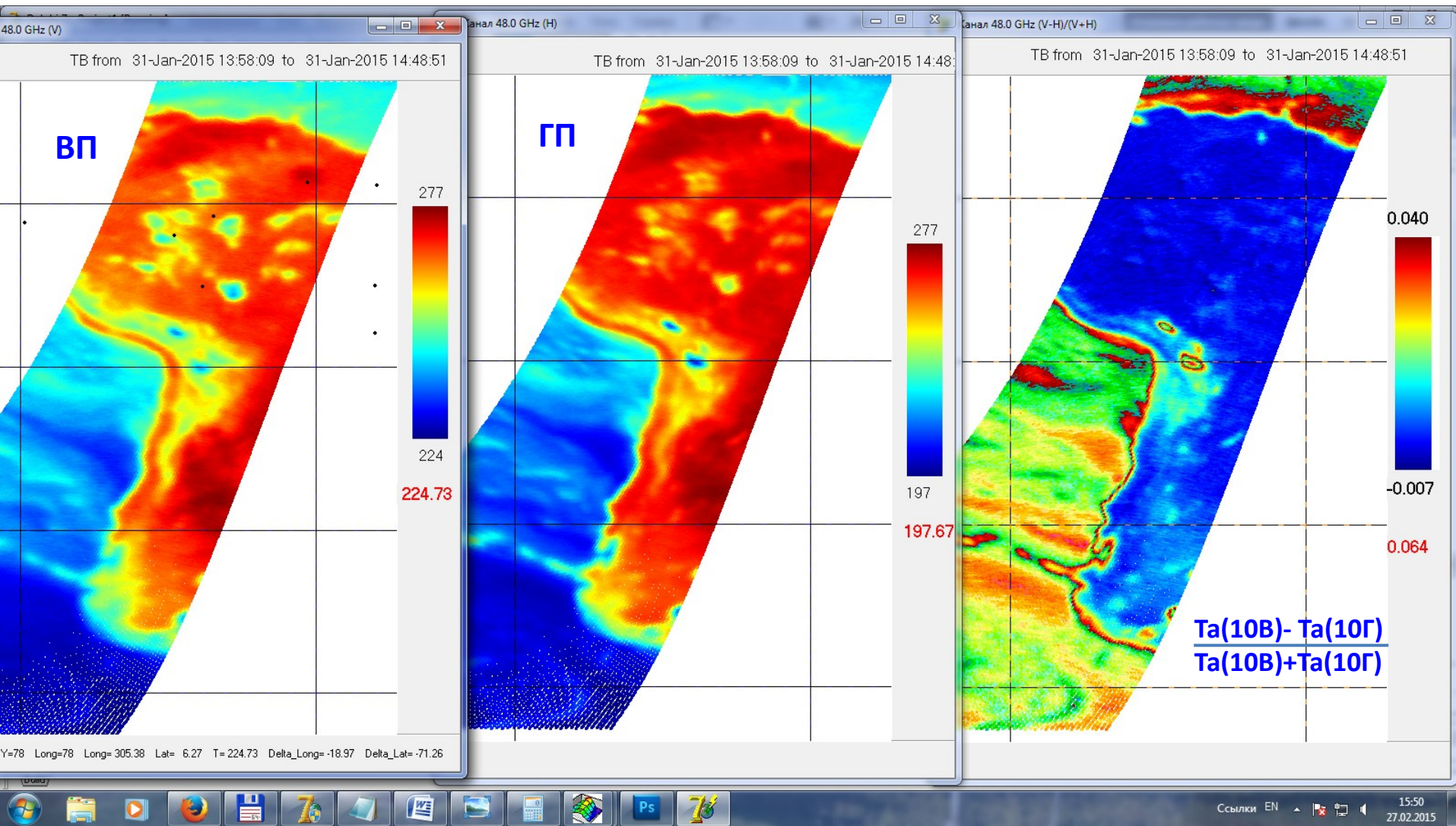
31 января 2015, МТВЗА-ГЯ, 23,8 ГГц



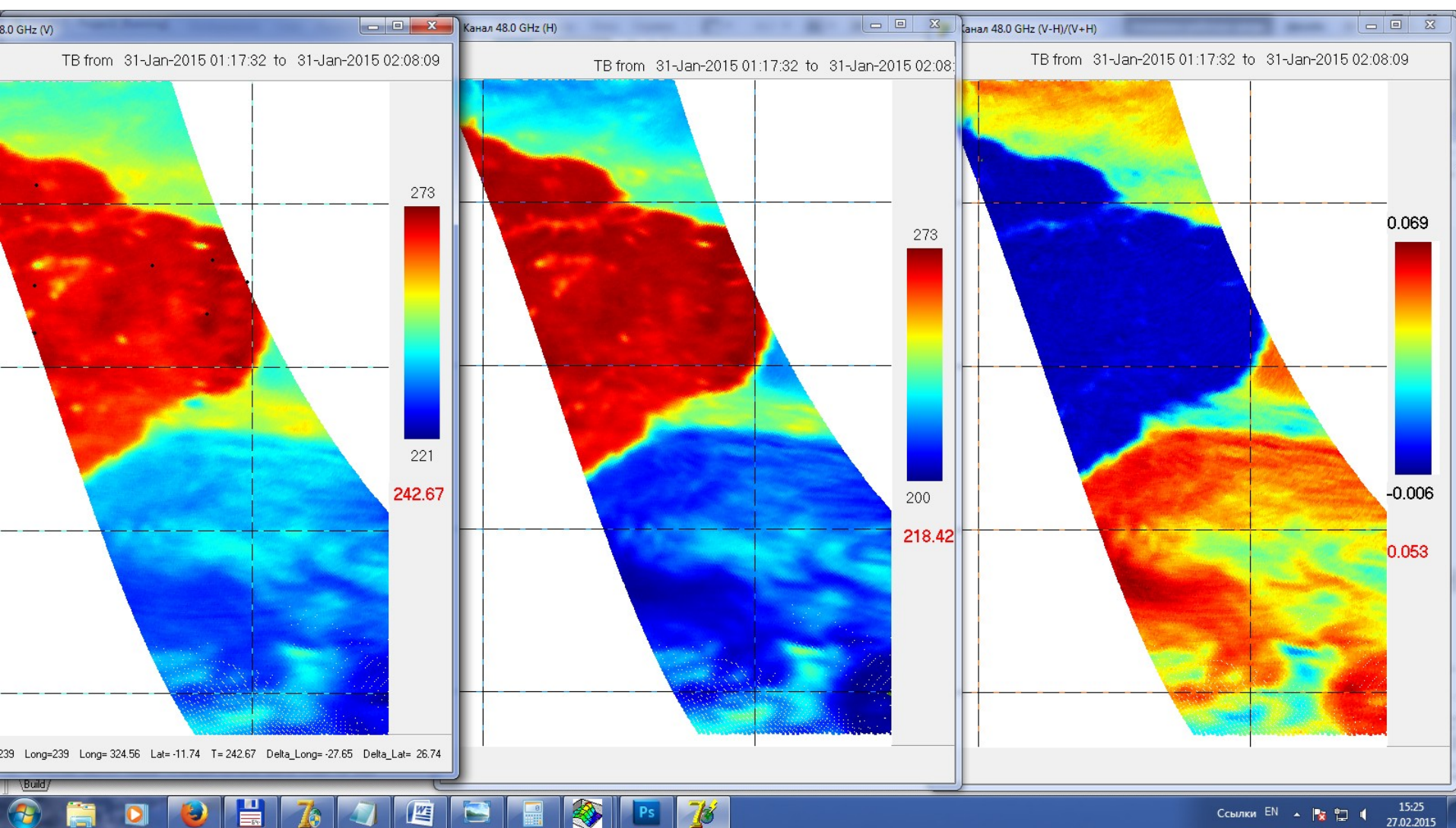
31 января 2015, МТВЗА-ГЯ, 23,8 ГГц



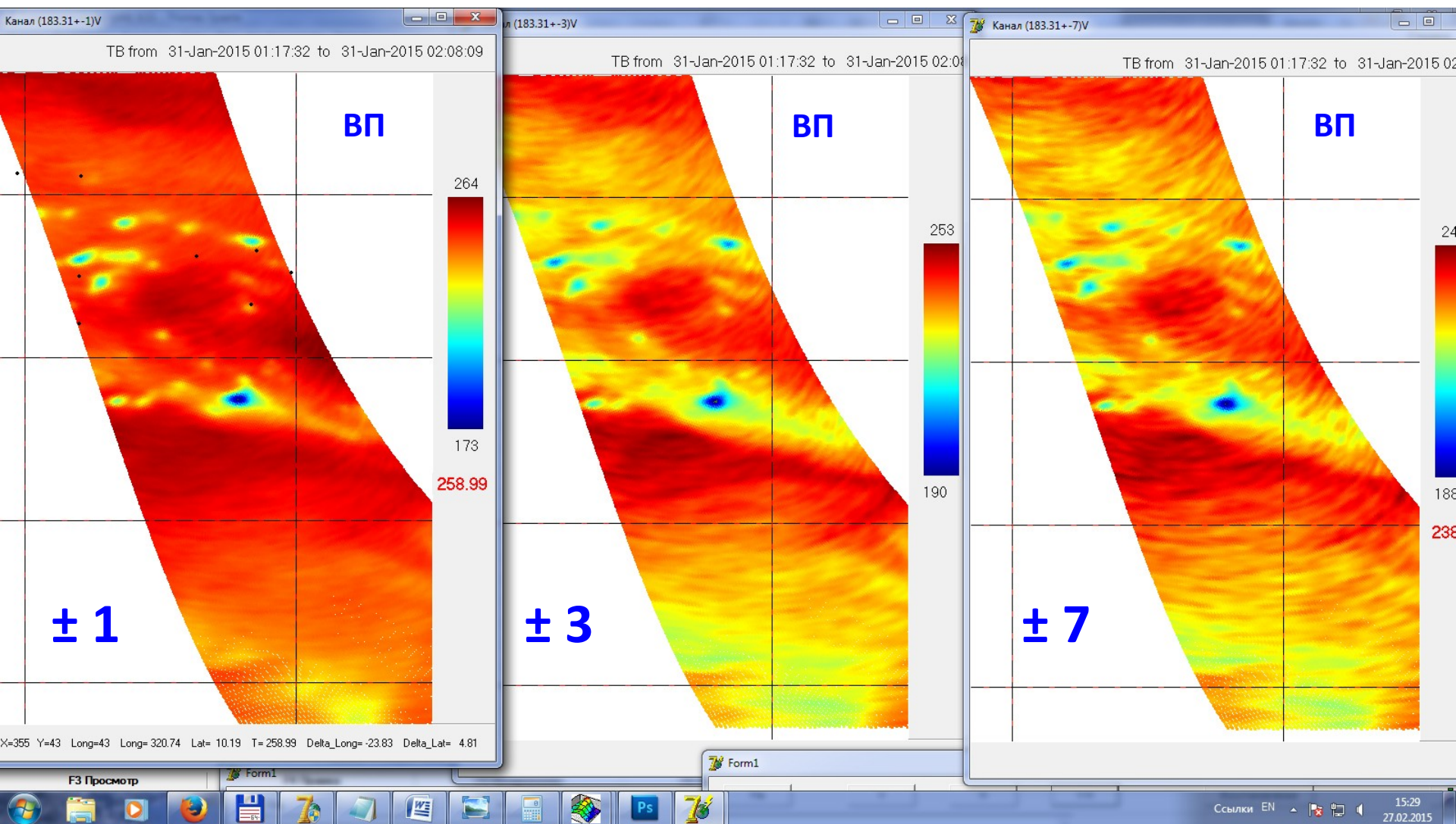
31 января 2015, МТВЗА-ГЯ, 48,0 ГГц



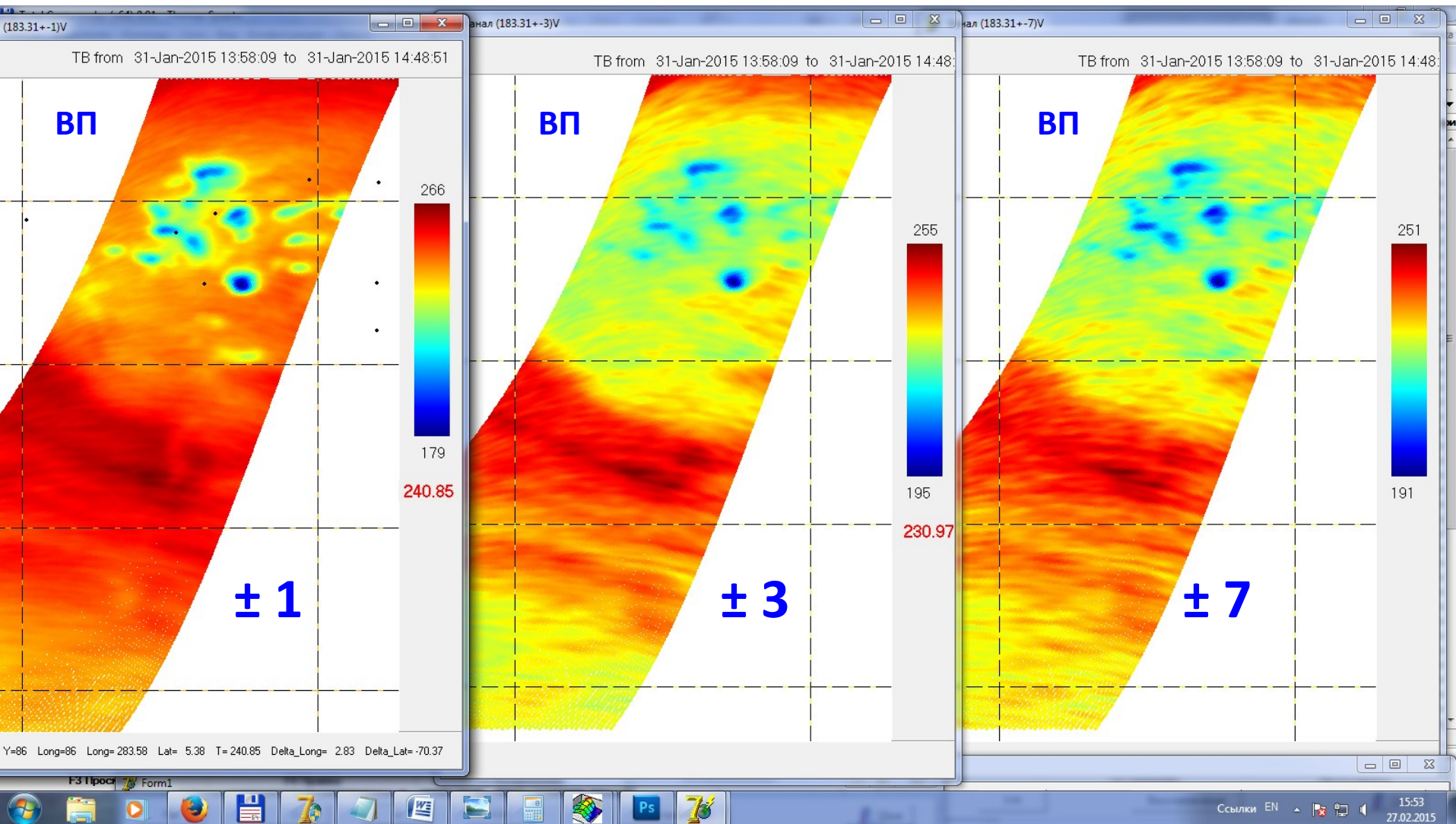
31 января 2015, МТВЗА-ГЯ, 48 ГГц



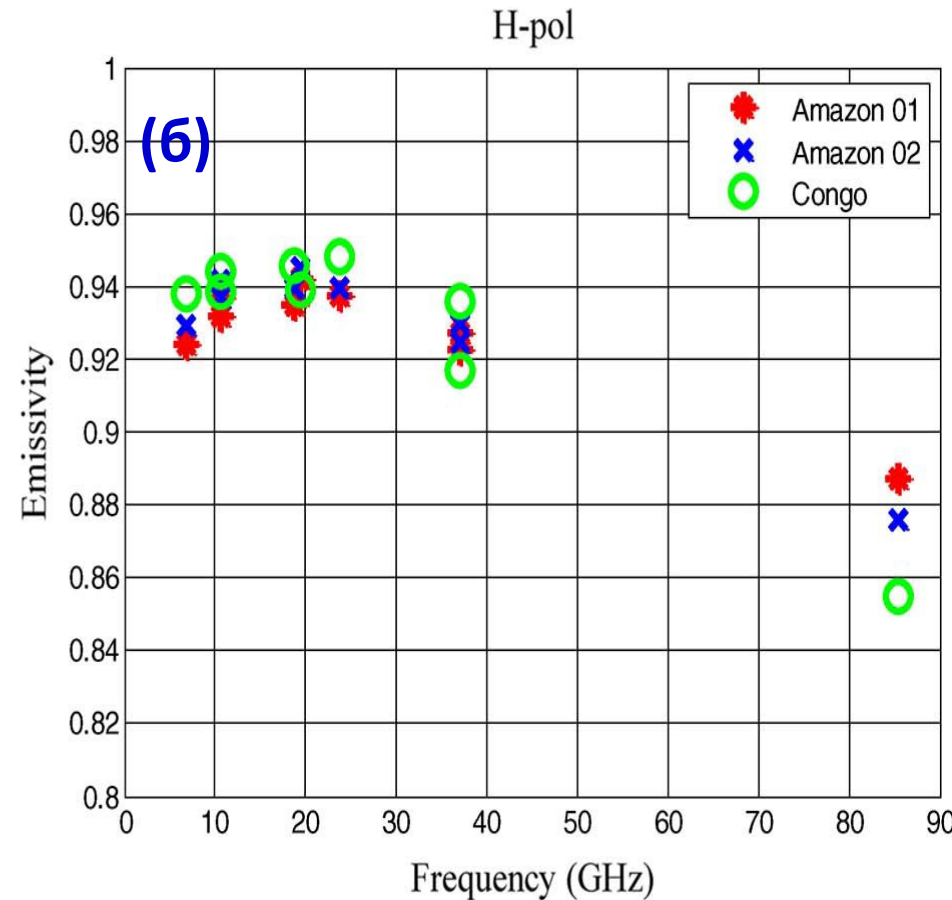
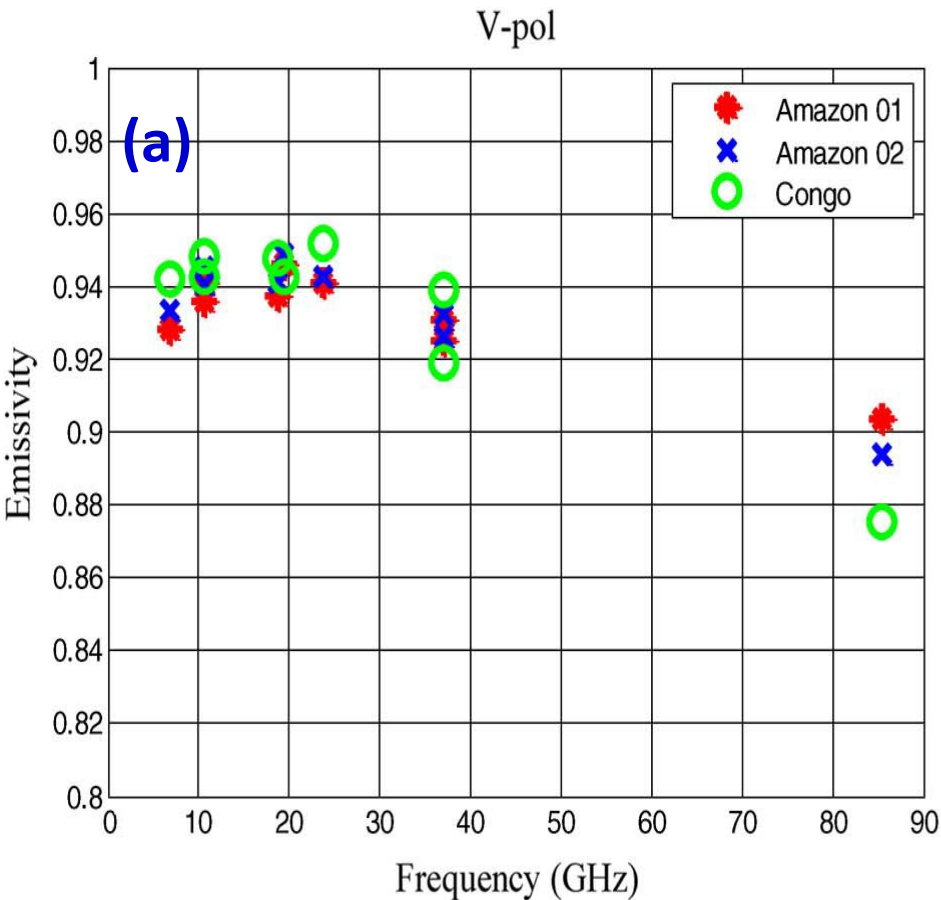
31 января 2015, МТВЗА-ГЯ, 183,31 ГГц



31 января 2015, МТВЗА-ГЯ, 183,31 ГГц



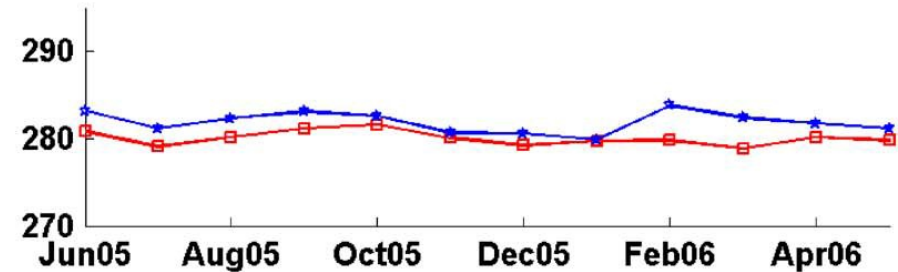
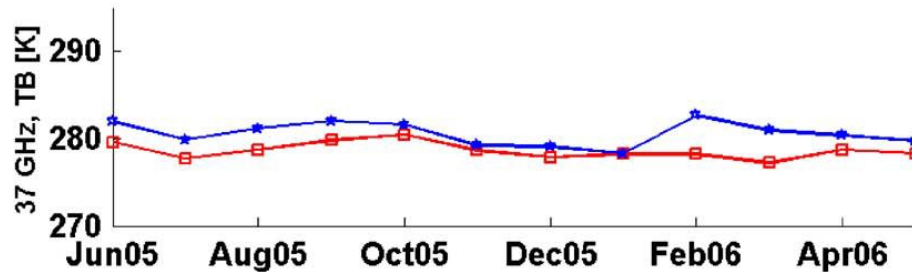
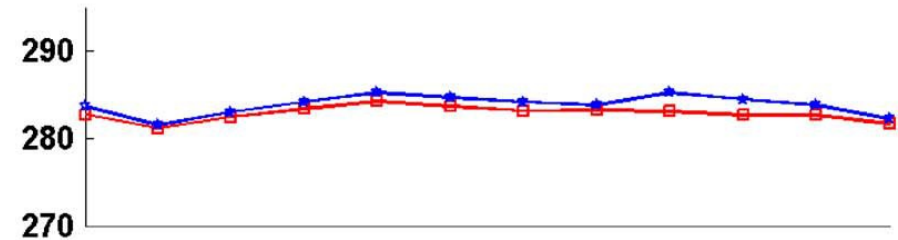
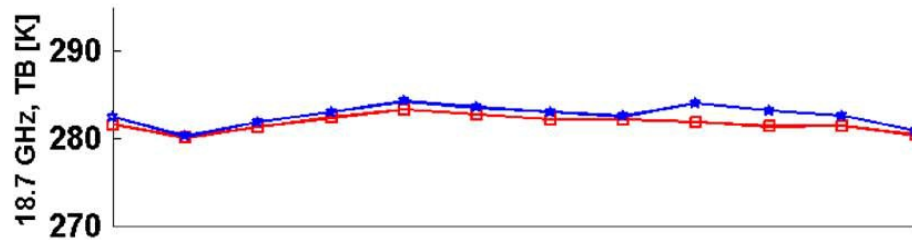
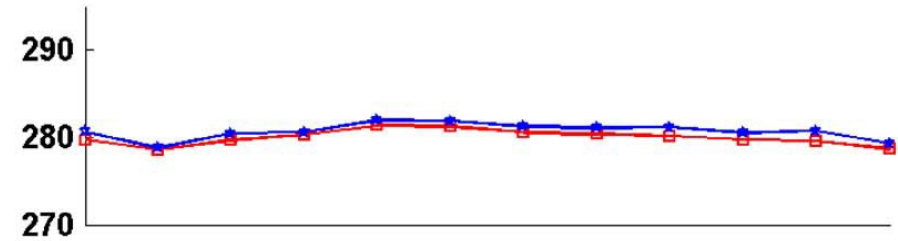
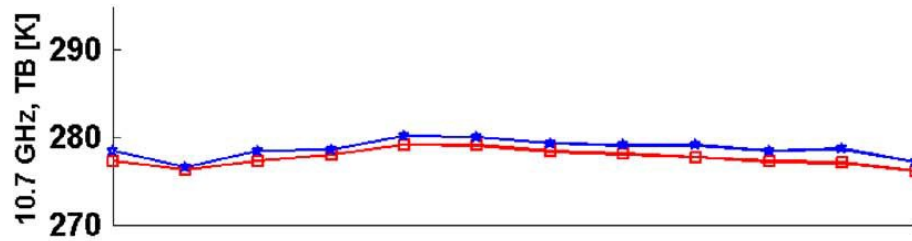
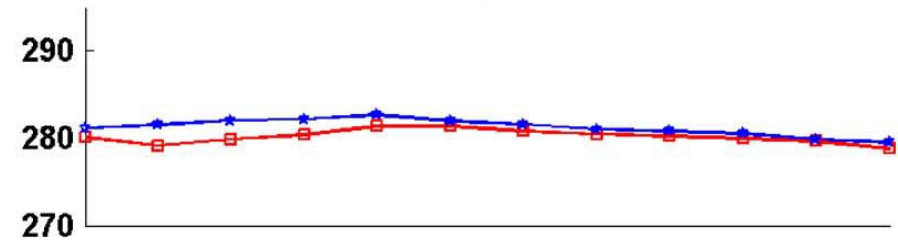
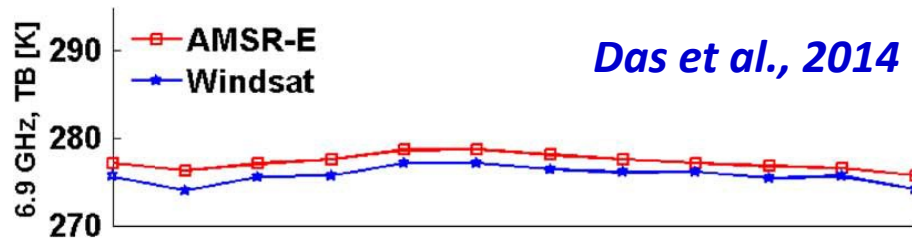
Коэффициенты излучения дождевых лесов



Восстановленные неполяризованные значения коэффициентов излучения слабо рассеивающего покрова над почвой, полученные по данным **TMI** и **WindSat** с использованием Тяв (а) и Тяг (б). Средние значения нанесены для трёх областей: красный цвет – Амазонка 1, голубой – Амазонка 2, зелёный – Конго. (*Biswas et al., 2013*).

H-pol

V-pol

Das et al., 2014

Time series of monthly mean brightness temperatures for **AMSR-E** and **WindSat** over the Amazon forest region for a one-year period (June 2005 - May 2006)

Холодная внешняя калибровка

а) Области Атлантического и Тихого океана *при слабом ветре, отсутствии облаков и малом паросодержании атмосферы* на витках, пересекающих Амазонку в сроки близкие к 00 Гр. и 12 Гр. Есть береговые или островные *станции р/з атмосферы*.
Учет сезона.

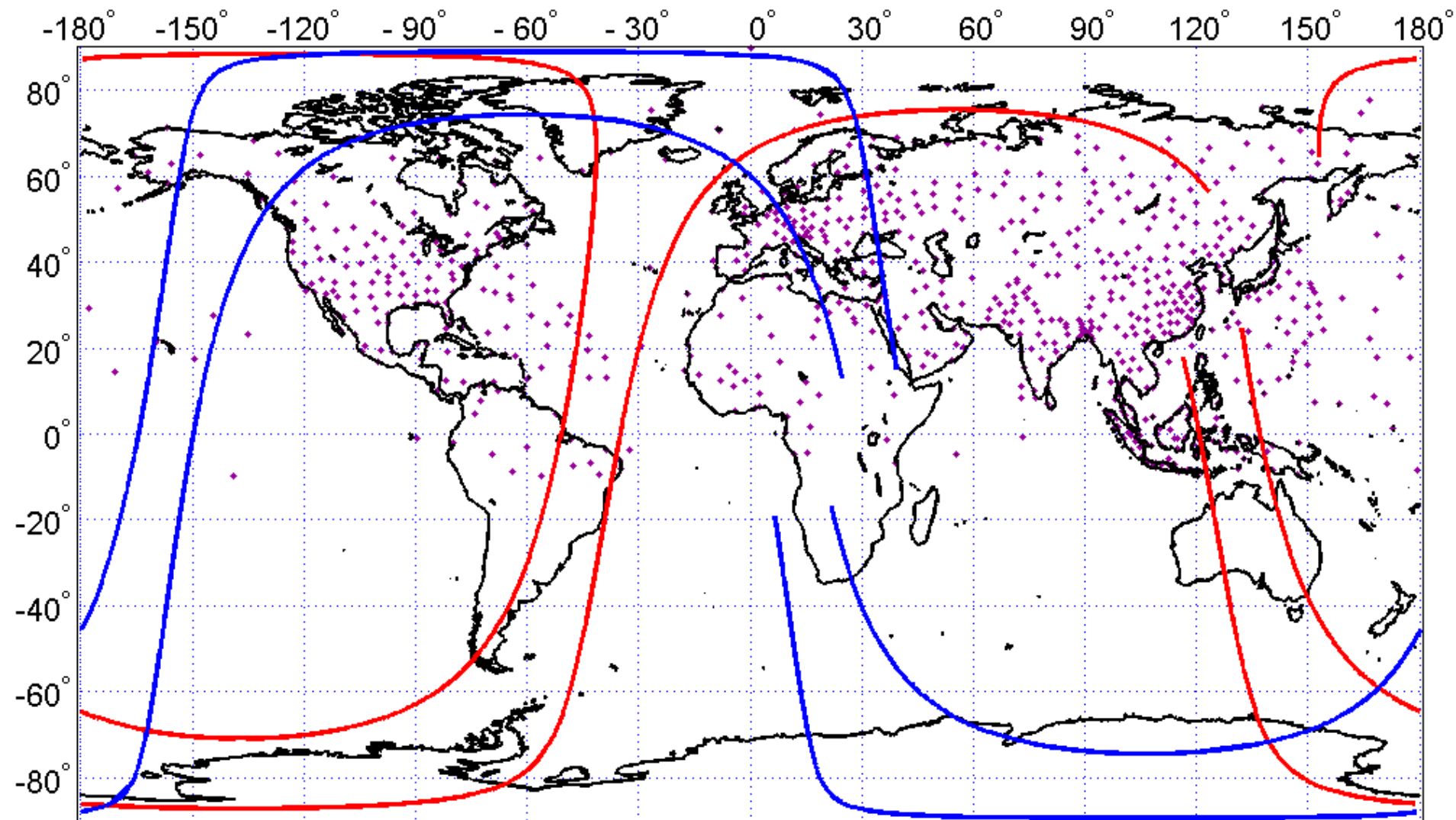
Кросс-калибровка (**MTV3A-ГЯ** и **AMSR2** или **ATMS**).

Тя рассчитываются с использованием программы переноса излучения в системе океан-атмосфера на всех каналах сканера **MTV3A-ГЯ**. *Необходимо иметь современную программу!*

б) Ледяное плато Антарктиды ($h \approx 3$ км, круглый год $t < -20^\circ\text{C}$, *три метеорологических станции*).

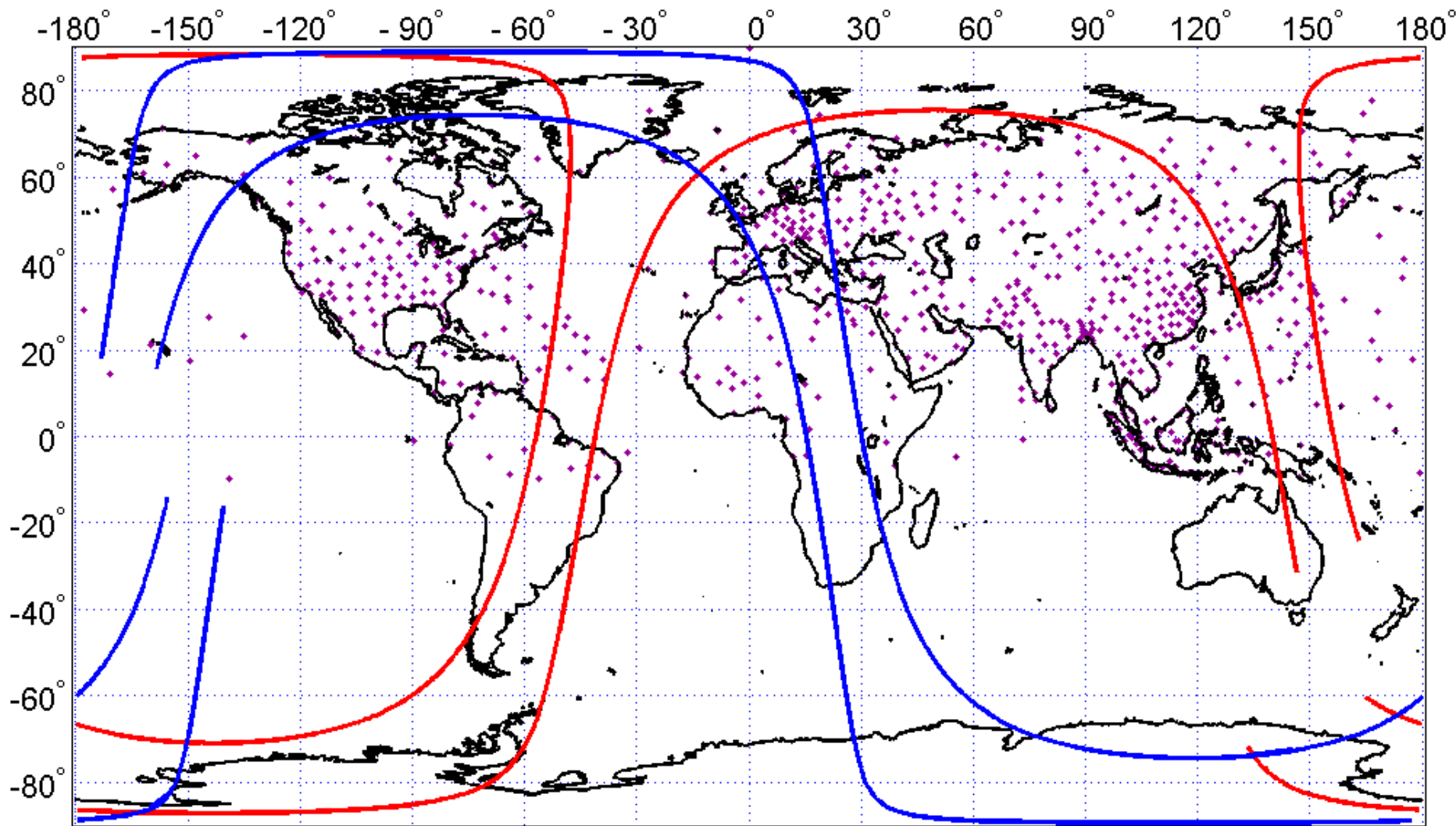
При расчётах используются опубликованные данные о коэффициентах излучения плато и об их сезонном ходе.

Холодная внешняя калибровка

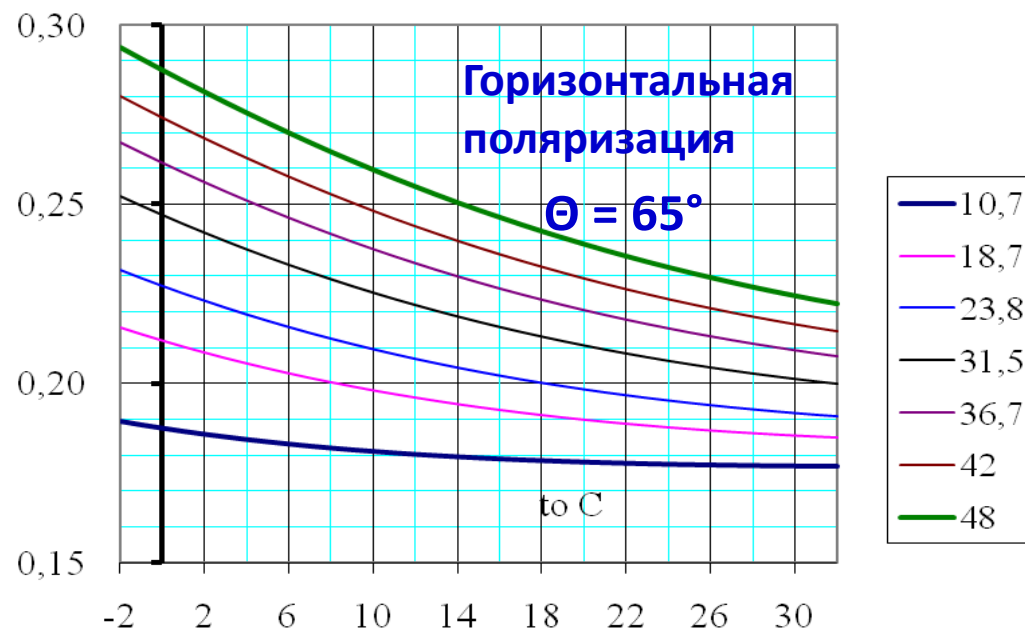


amsr2_meteor-2_20141201T110000_20141201T130000a.png

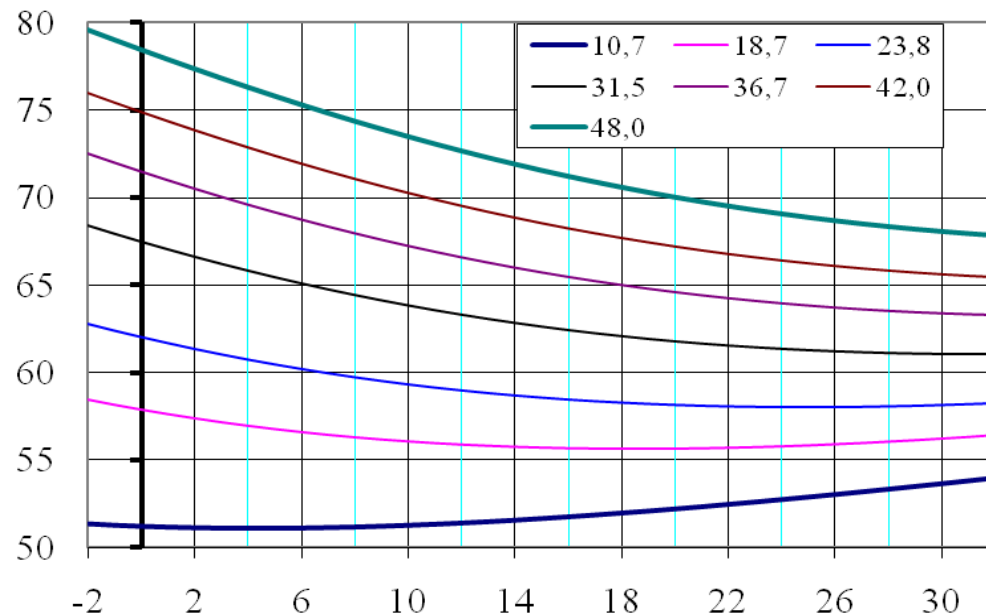
Холодная внешняя калибровка



amsr2_meteor-2_20141225T110000_20141225T130000



Температура поверхности океана



Температура поверхности океана

Зависимость коэффициентов излучения гладкой поверхности океана от температуры воды. Диэлектрическая проницаемость воды

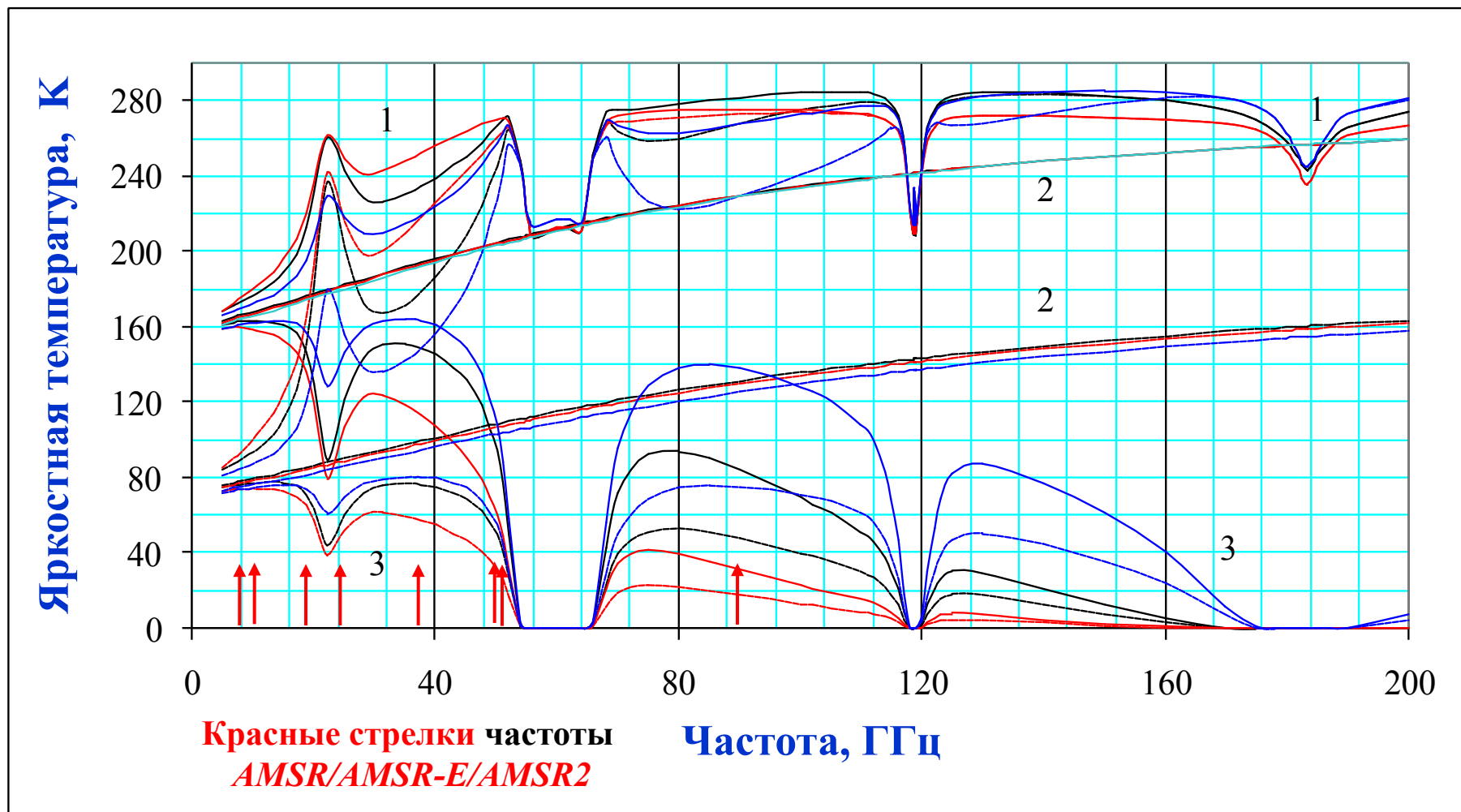
Аппроксимации

$$\kappa^{B, \Gamma} = a_0 + a_1 t_0 + a_2 t_0^2 \quad (1)$$

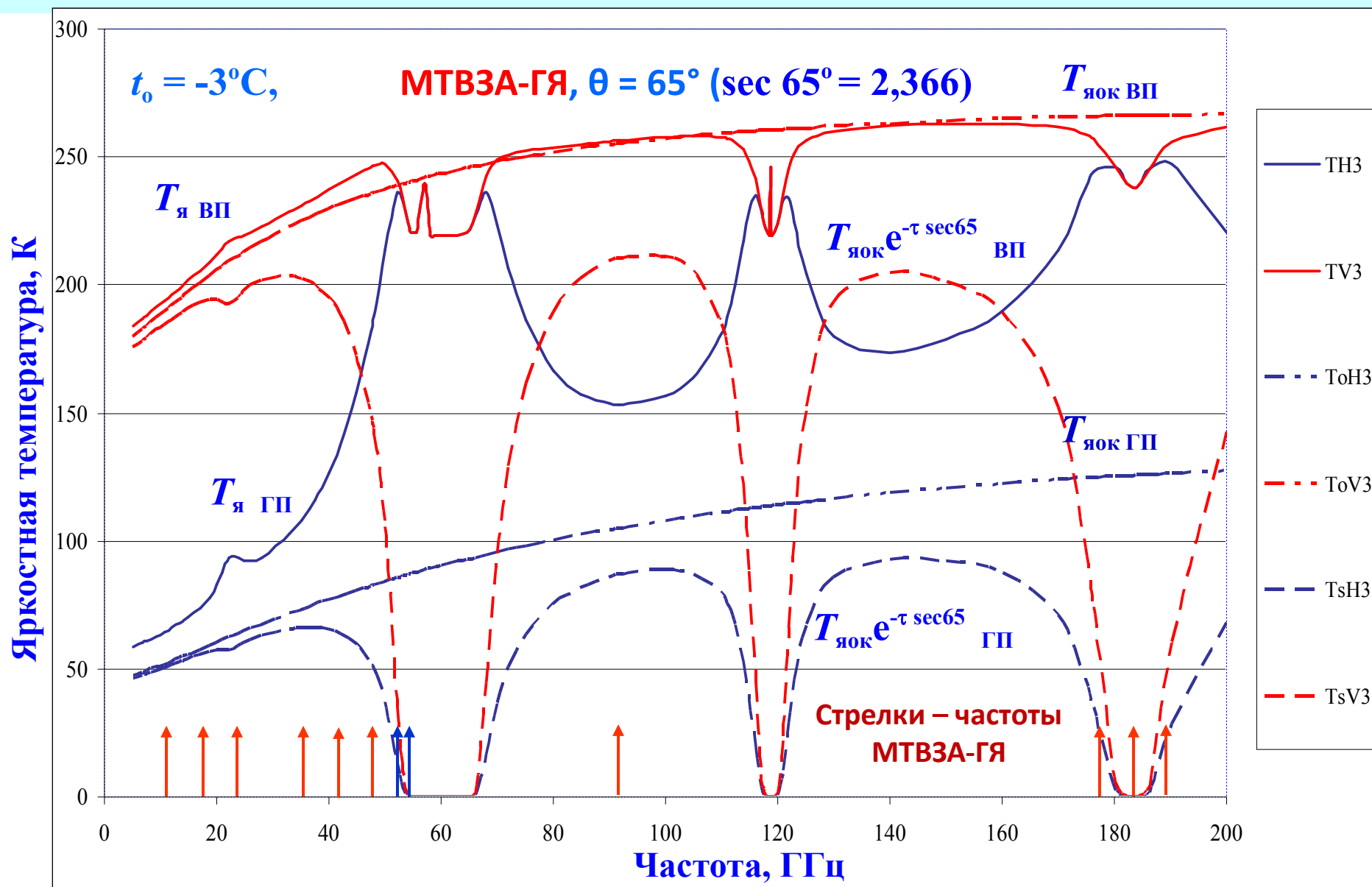
$$T_{\text{яок}}^{B, \Gamma} = b_0 + b_1 t_0 + b_2 t_0^2 \quad (2)$$

Зависимость яркостной температуры гладкой поверхности океана от температуры поверхности океана с соленостью 36 ‰

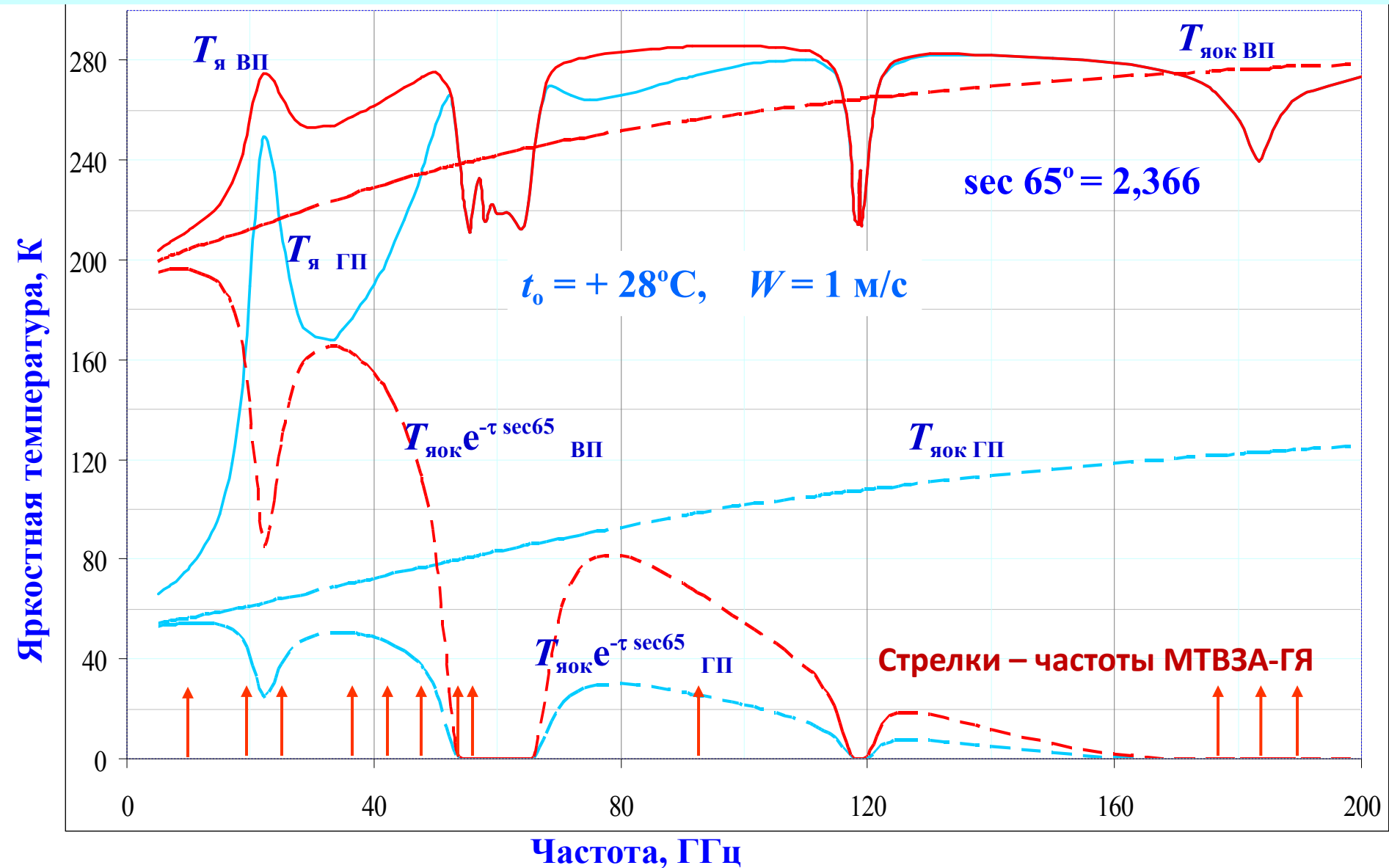
Спектры яркостной температуры системы океан-атмосфера (**кривые 1**) и океана на нижней (**кривые 2**) и верхней (**кривые 3**) границах атмосферы. Сплошные линии – В-пол., пунктирные линии – Г-пол. Паросодержание атмосферы $V = 59 \text{ кг/м}^2$, водозапас облаков $Q = 0.0 \text{ кг/м}^2$ (**черные линии**), $V = 28 \text{ кг/м}^2$, $Q = 0 \text{ кг/м}^2$ (**синие линии**); $Q = 0.6 \text{ кг/м}^2$, $V = 61 \text{ кг/м}^2$ (**красные линии**).



Спектры яркостной температуры. Сухая ($V = 3 \text{ кг/м}^2$) холодная безоблачная атмосфера над океаном, $T_0 = 275 \text{ К}$, $W = 1 \text{ м/с}$

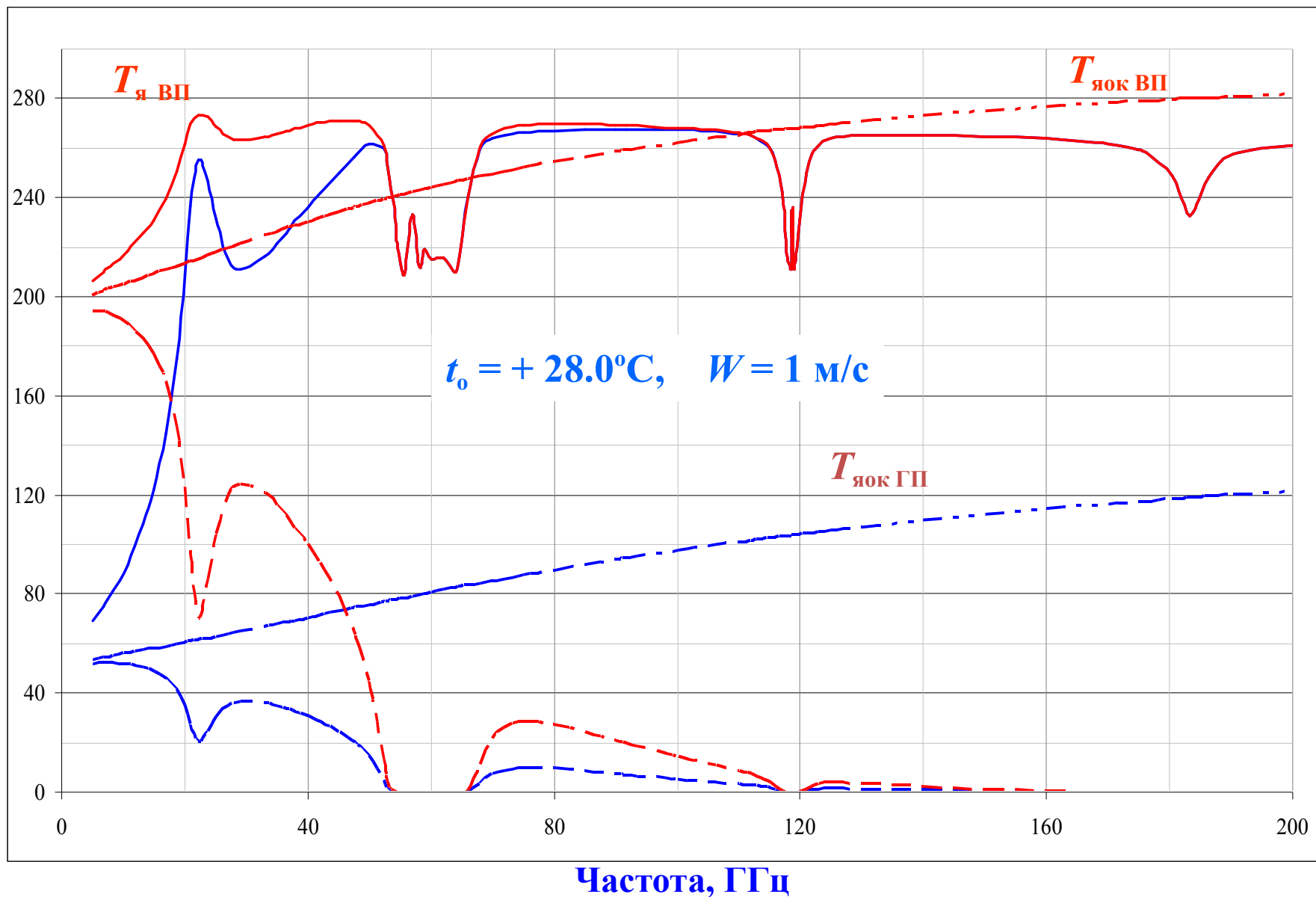


Спектры яркостной температуры. Влажная ($V = 55 \text{ кг/м}^2$) тропическая безобл. атмосфера. Океан: $T_o = 301 \text{ К}$, $W = 1 \text{ м/с}$



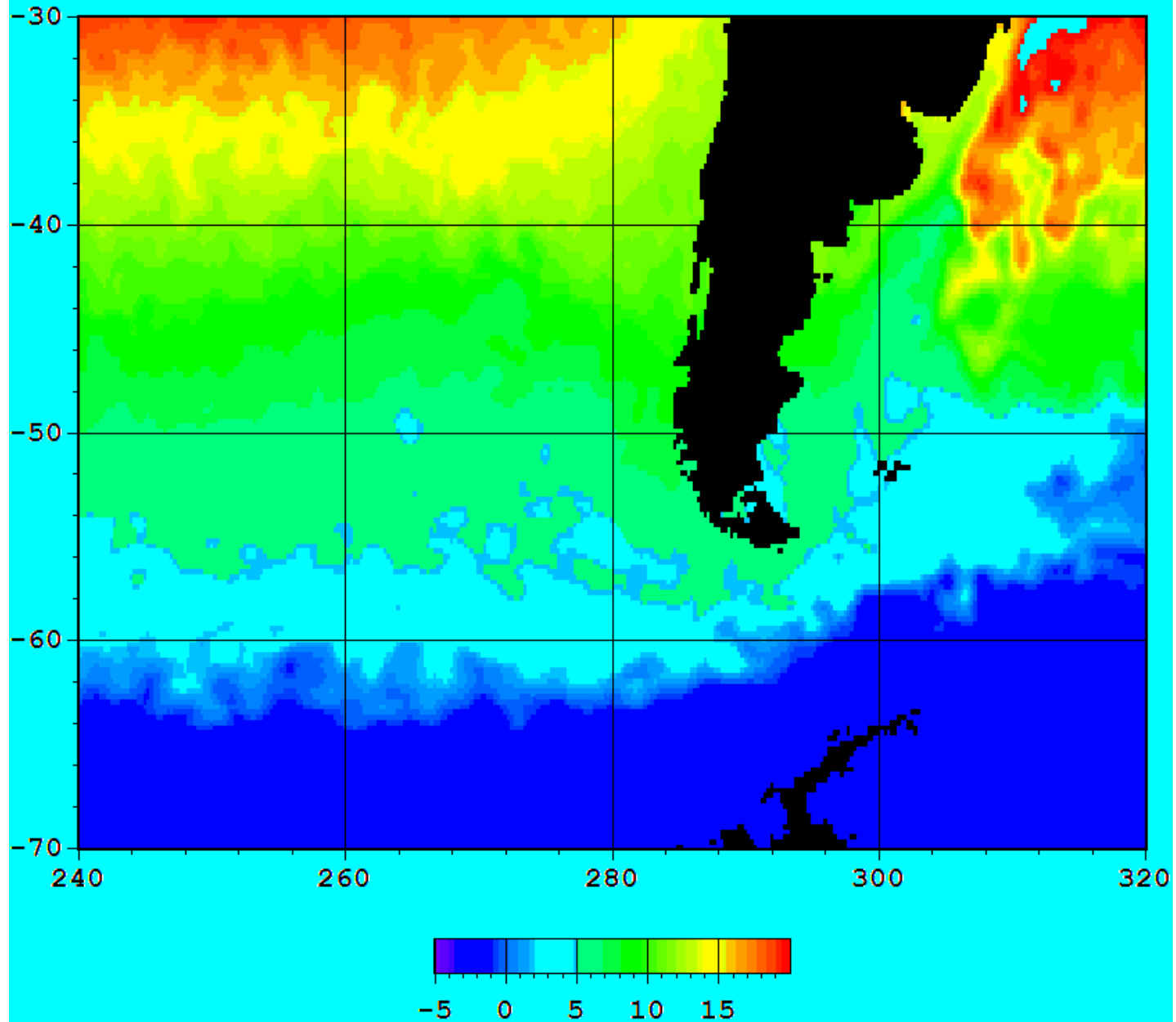
Спектры яркостной температуры. Влажная тропическая атмосфера: $V = 56 \text{ кг/м}^2$, $Q = 0.5 \text{ кг/м}^2$. Океан: $T_o = 301 \text{ К}$, $W = 1 \text{ м/с}$

Яркостная температура, К

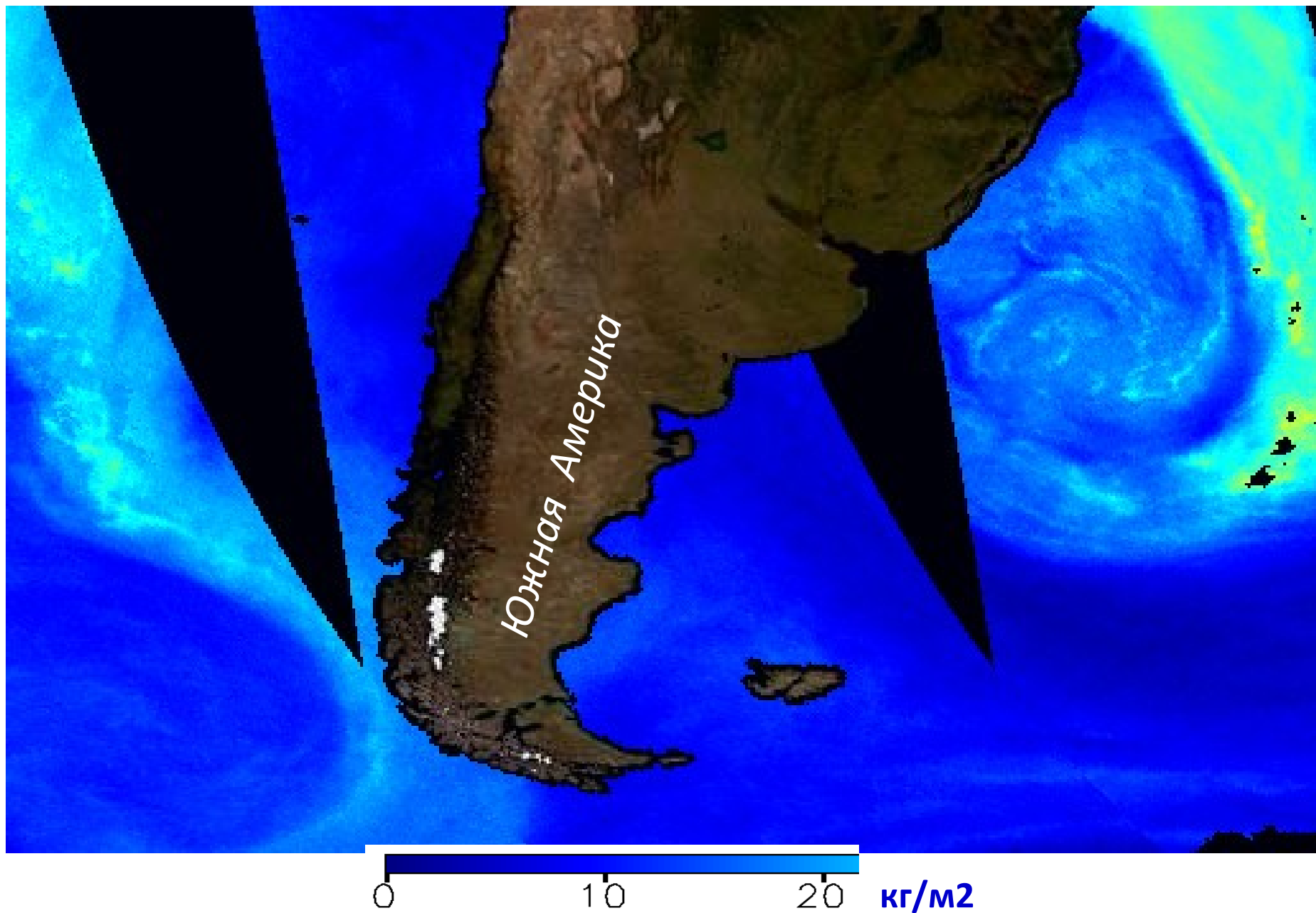


Холодная область, ТПО. 27 авг 2014

27 aug 2014; SST

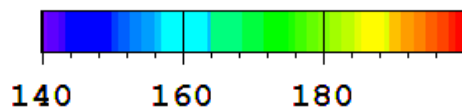
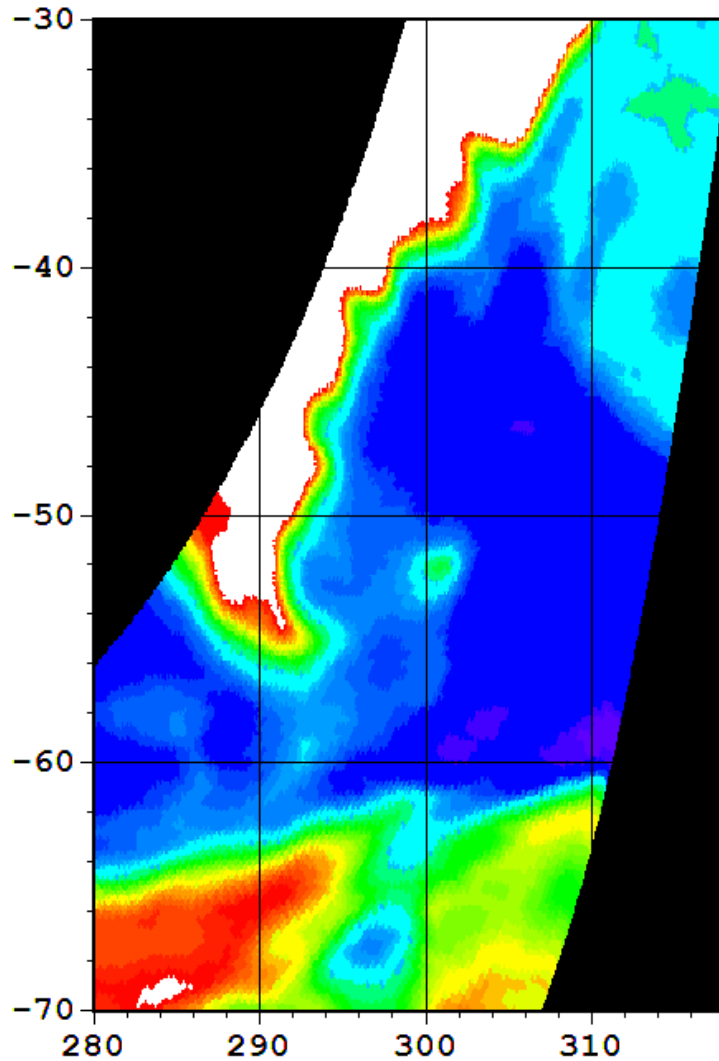


Паросодержание атмосферы по данным GCOM-W1 за 26.08.14

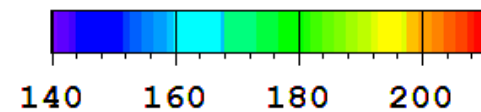
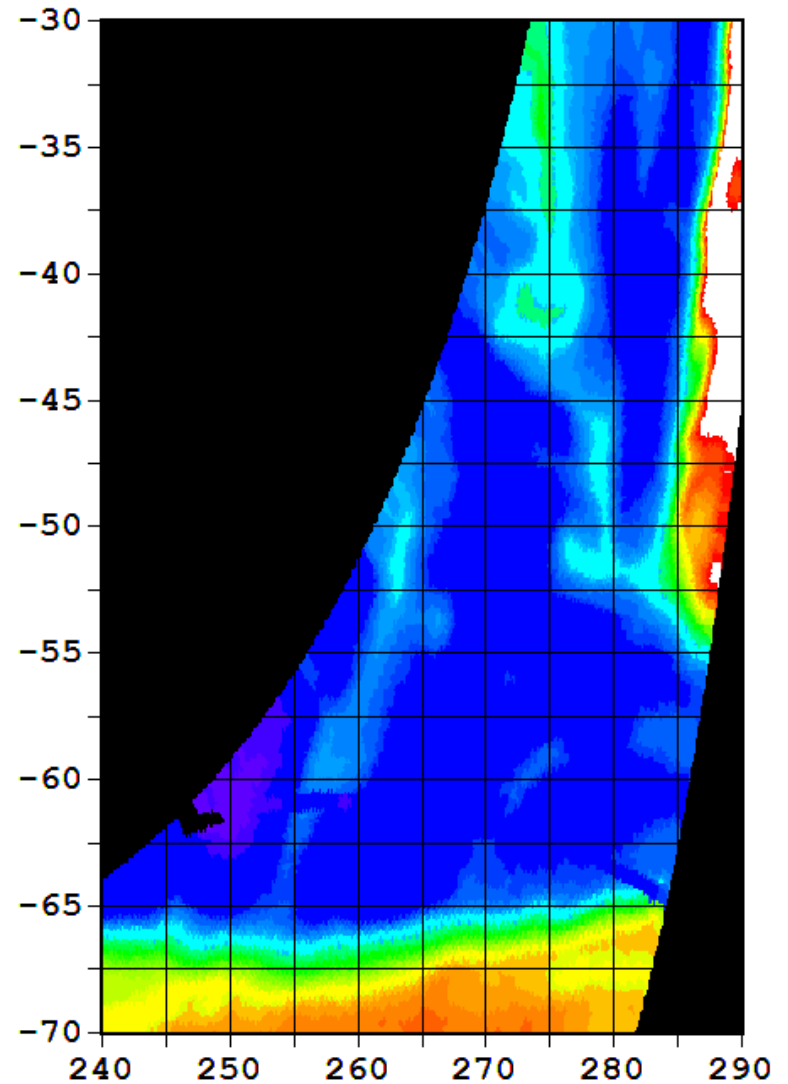


Выбор областей

27 aug 2014; 08D; (10H+23V+36V)/3

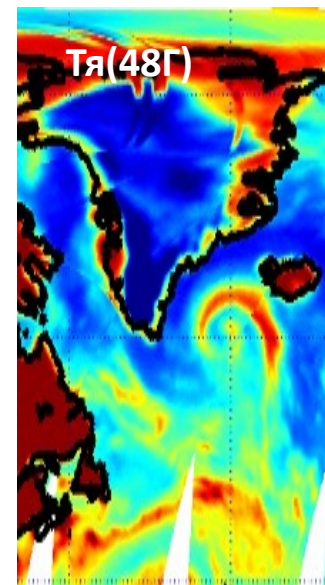
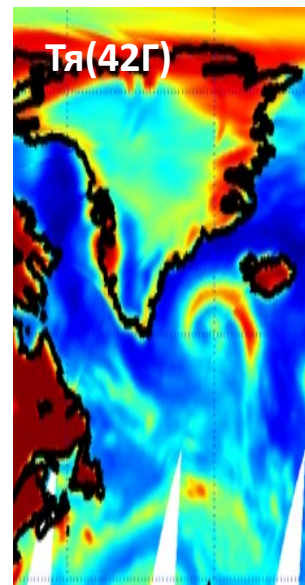
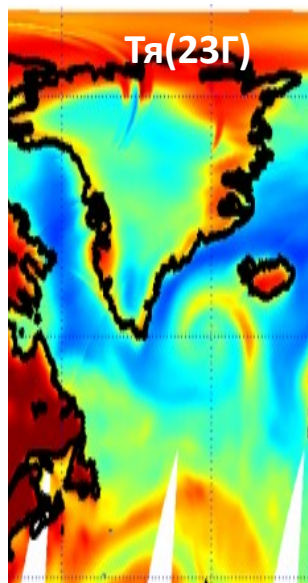


27 aug 2014; 10D; (10H+23V+36V)/3

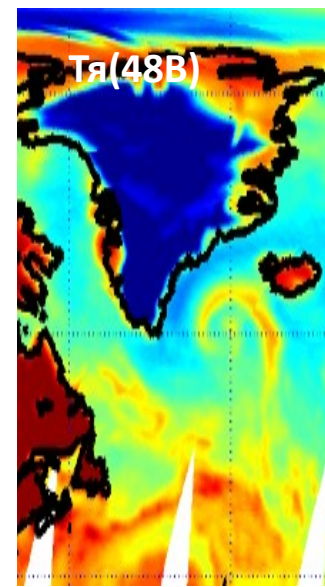
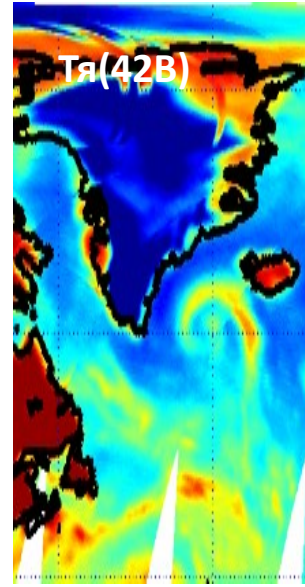
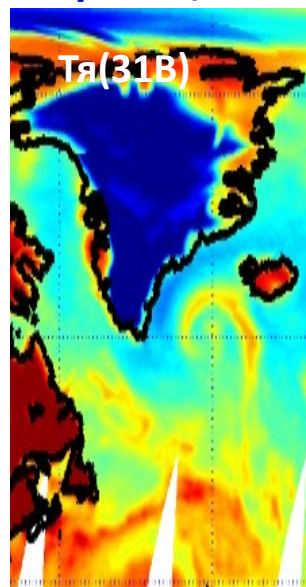
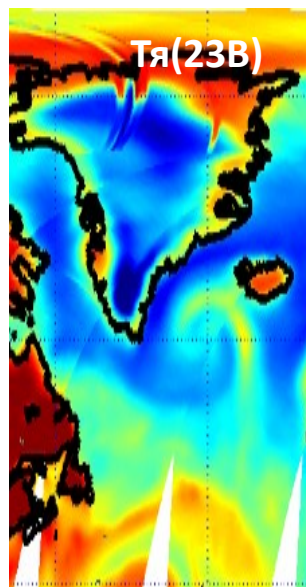
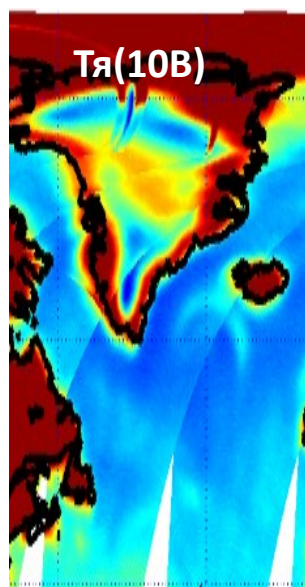


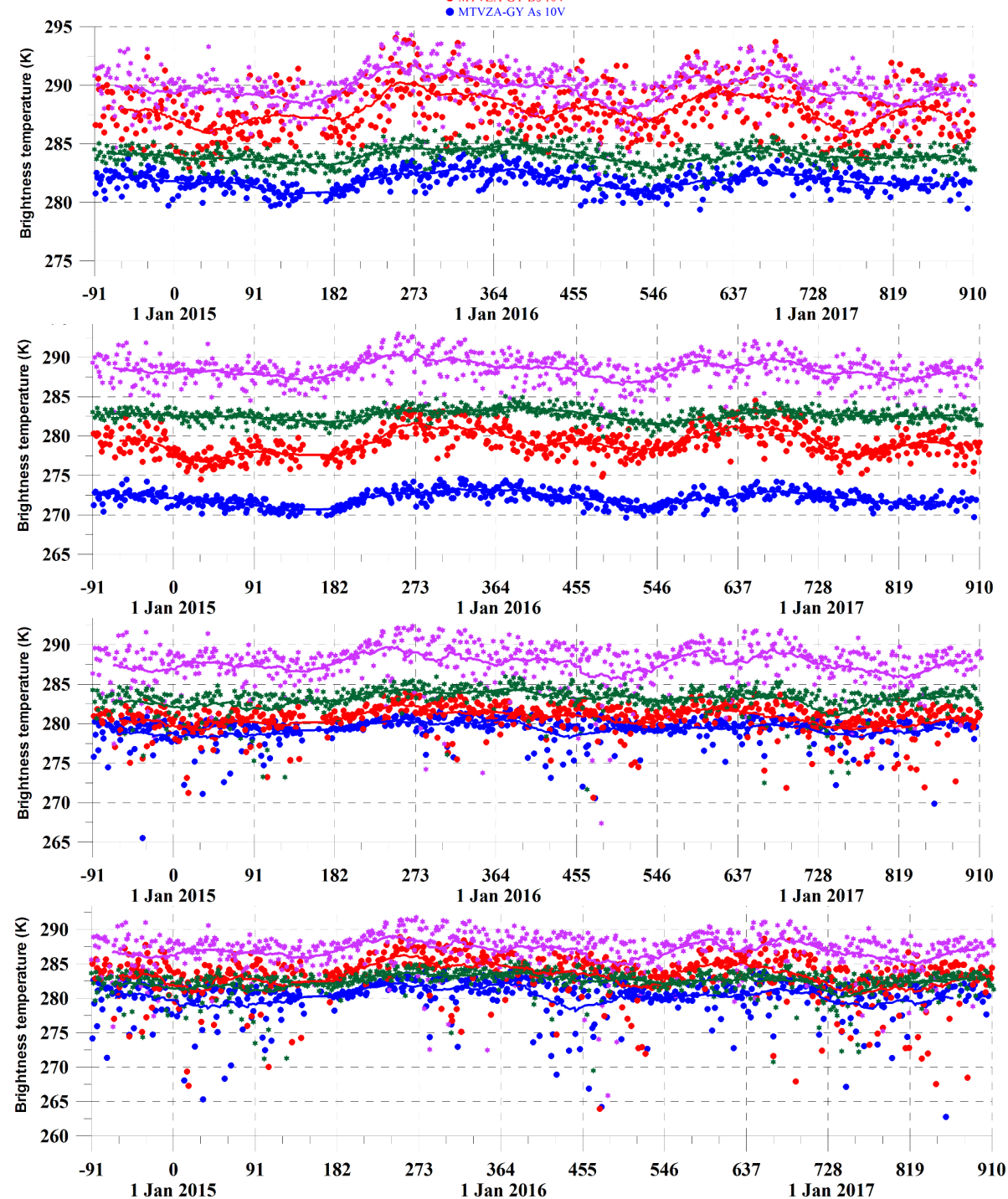
Циклон в Норвежском море, 3 августа 2014 г.

Горизонтальная поляризация



Вертикальная
поляризация



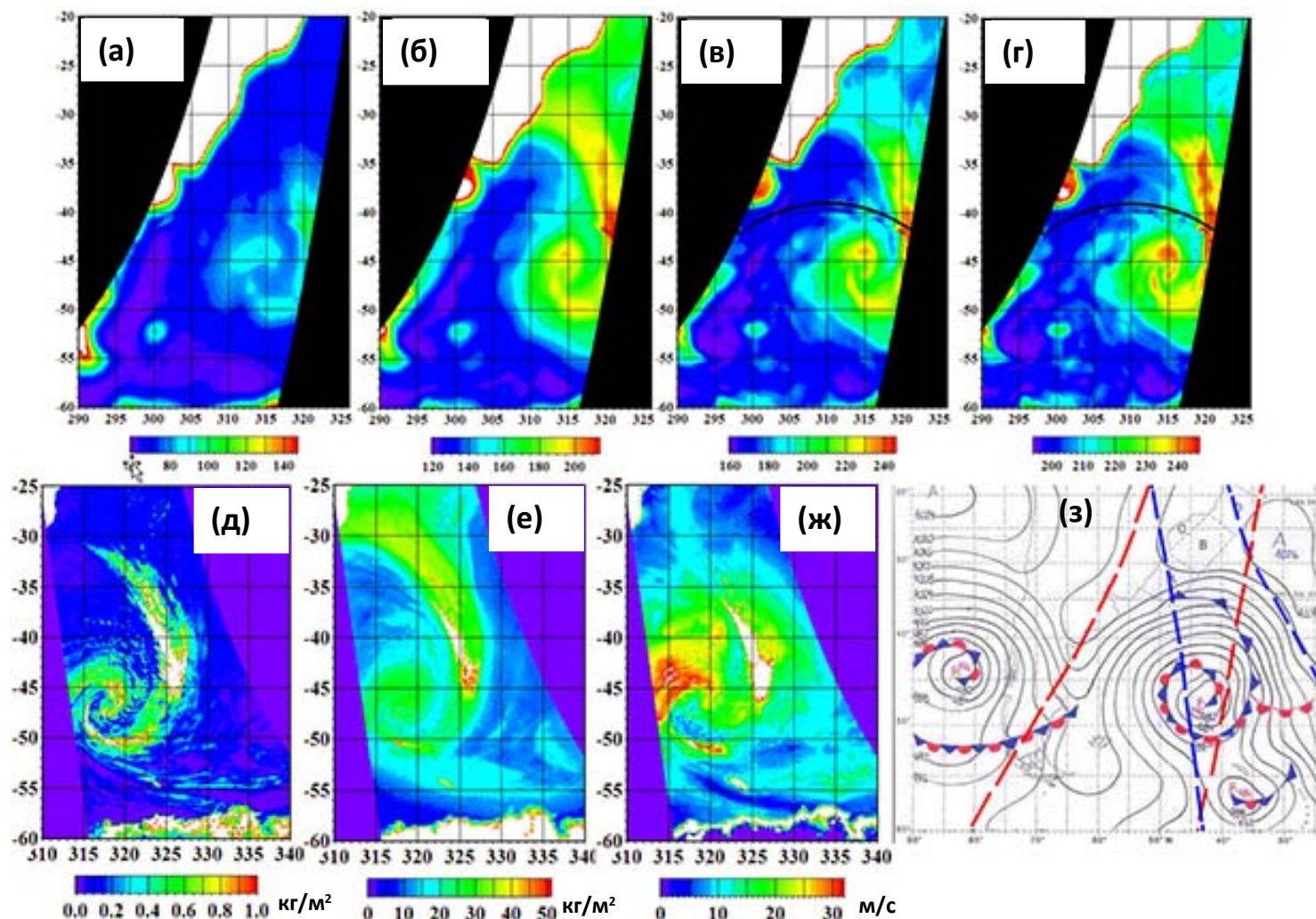


Временные ряды
яркостных температур на
частотах 10,6 ГГц (а, б) и
36,5 ГГц (в, г) на
вертикальной (а, в) и
горизонтальной (б, г)
поляризациях над
тестовой областью в
лесах Амазонки.

Синие точки - МТВЗА-ГЯ,
красные точки - **AMSR2**.

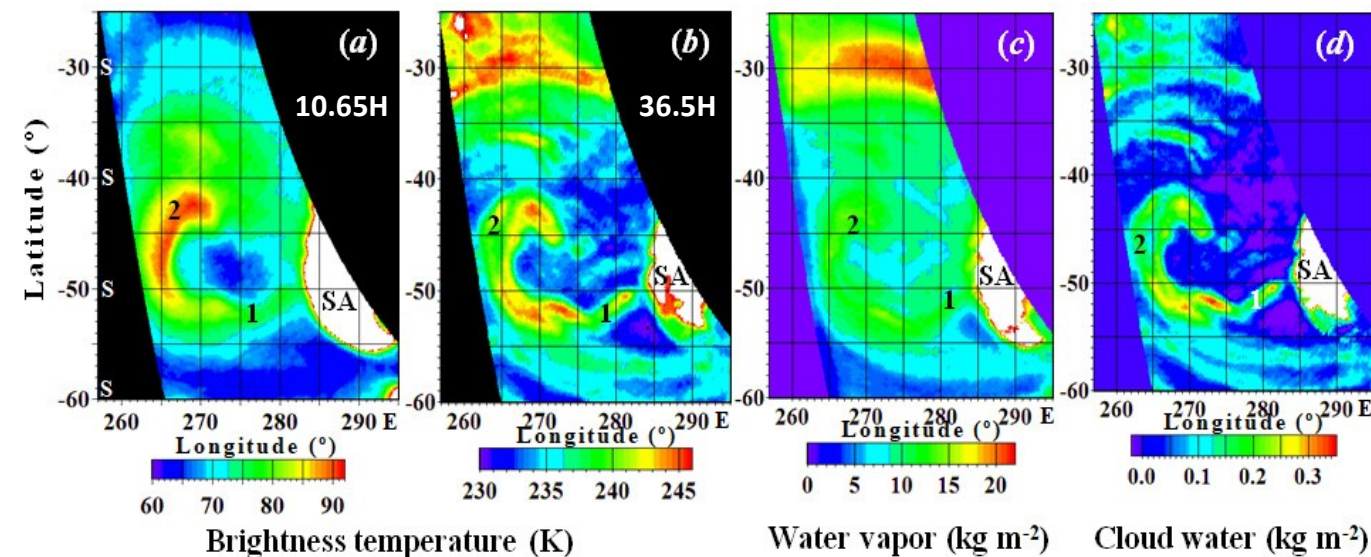
Высотные научные
обсерватории:
на Амазонке 325 м
у села Зотино,
Красноярский край
302 м

Циклон над Южным Атлантическим океаном 1 августа 2015 г.



Внетропический циклон в южной части Атлантического океана 1 авг. 2015 г.: яркостные температуры на Г-пол. на частотах 10.65, (а), 23.8 (б), 42.0 (в) и 48.0 ГГц (г) по данным **МТВЗА-ГЯ** в 14:11 Гр., поля водозаписа облаков (д), паросодержания атмосферы (е) и скорости приводного ветра (ж), восстановленные из измерений **AMSR2** со спутника **GCOM-W1**, и карта приземного анализа за 12:00 Гр., выпущенная Centro de Hidrografia da Marinha (Бразилия) (з).

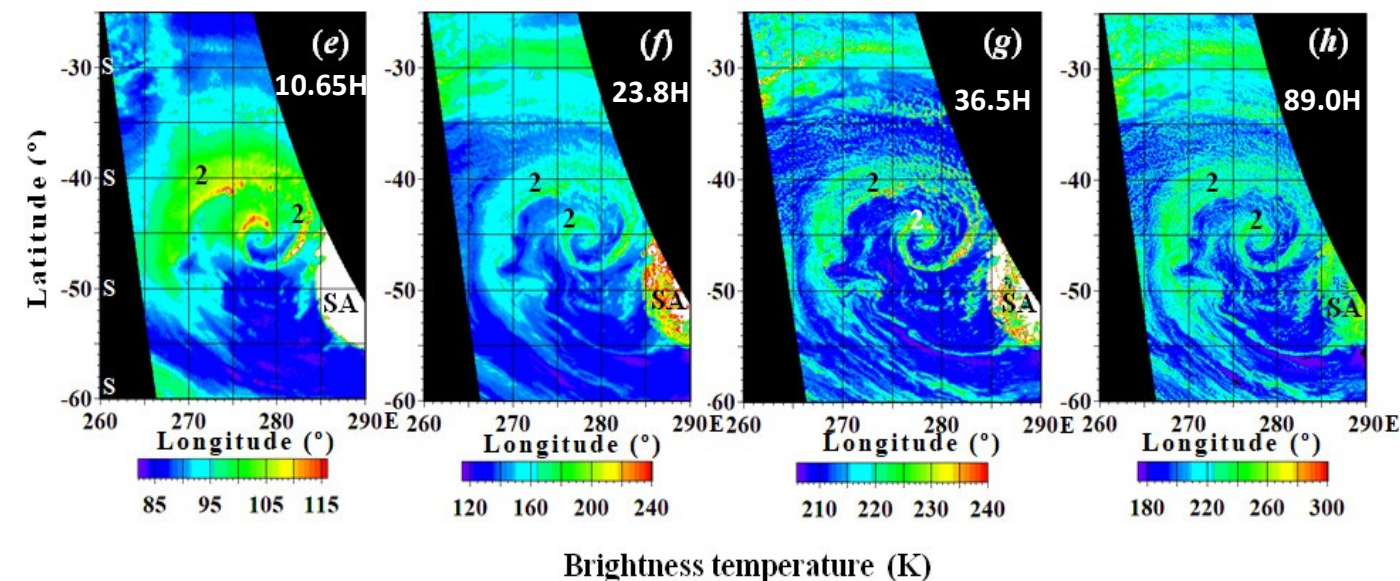
Циклон над Южным Тихим океаном 1 августа 2015 г.



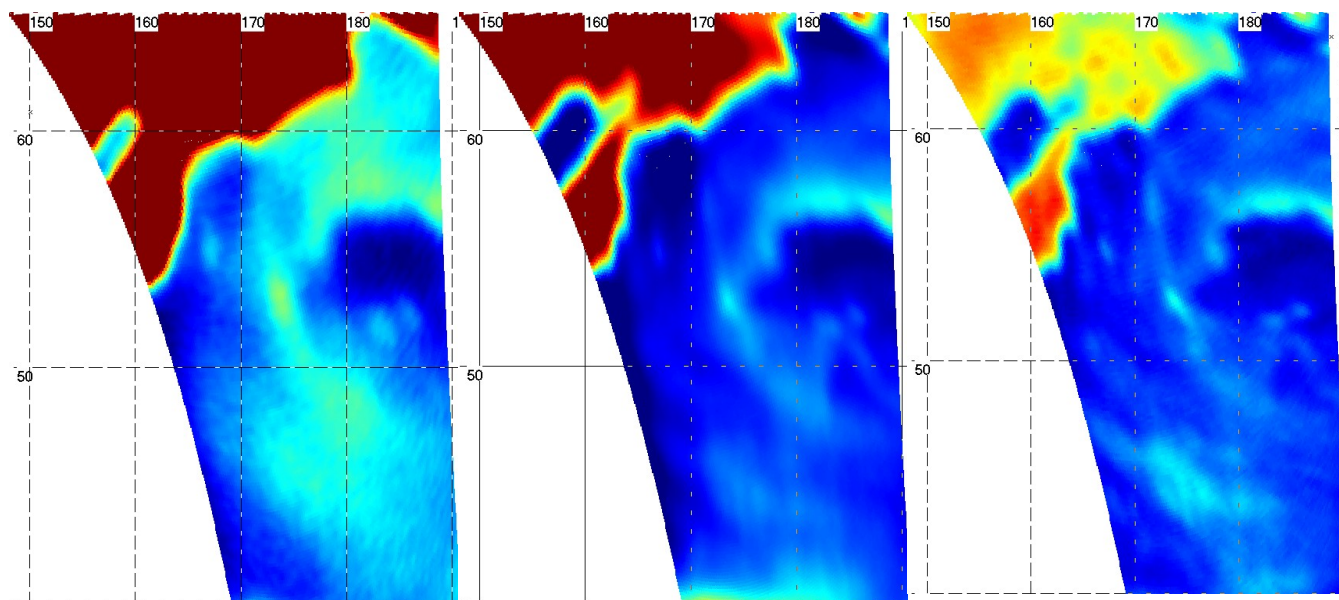
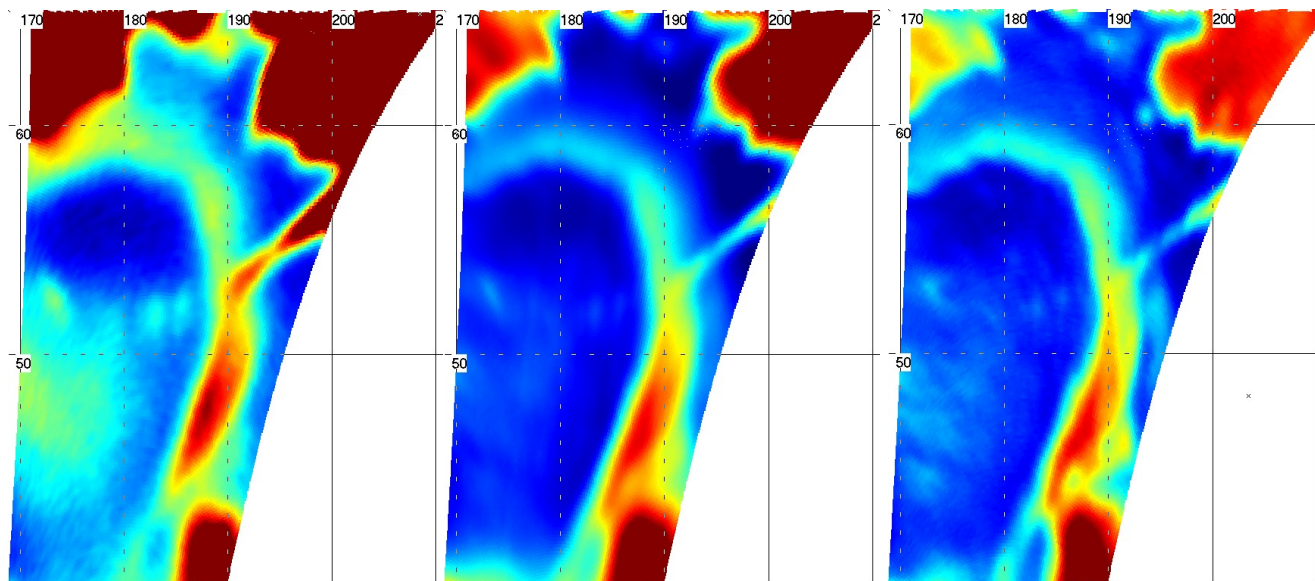
Яркостные температуры:
MTB3A-ГЯ в 03:50 Гр. (a),
(b) и **AMSR2** в 19:30 Гр. (e)
- (h).

10.65 ГГц (a) и (e), 23.8 ГГц
(f), 89.0 ГГц (h) Г-пол.
36.5 ГГц, (b) и (g) В-пол.

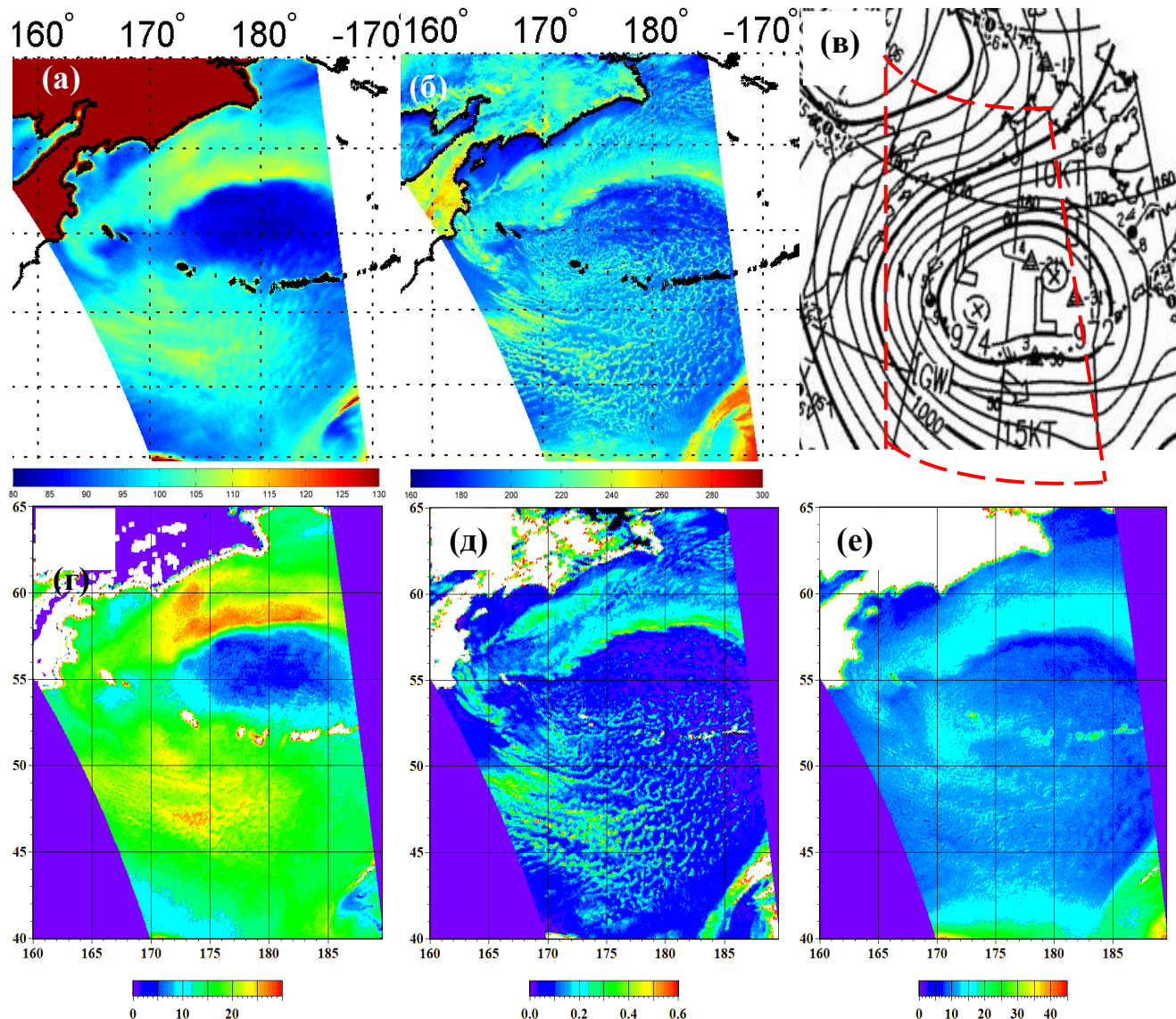
Паросодержание
атмосферы (c) и
водозапас облаков (d)
восстановленные из
яркостных т-р **MTB3A-ГЯ**



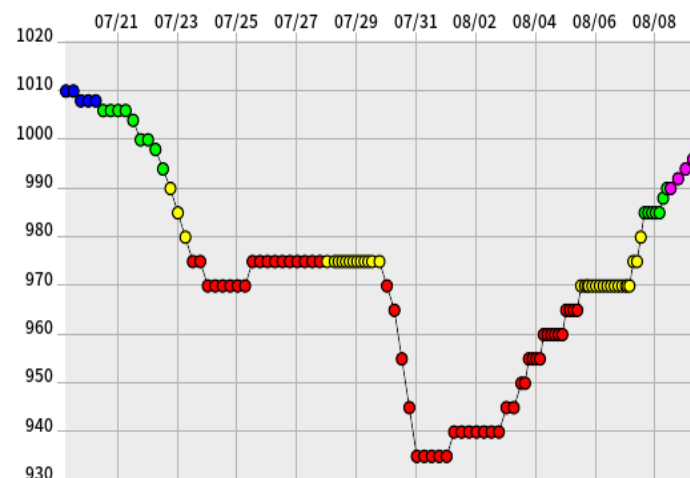
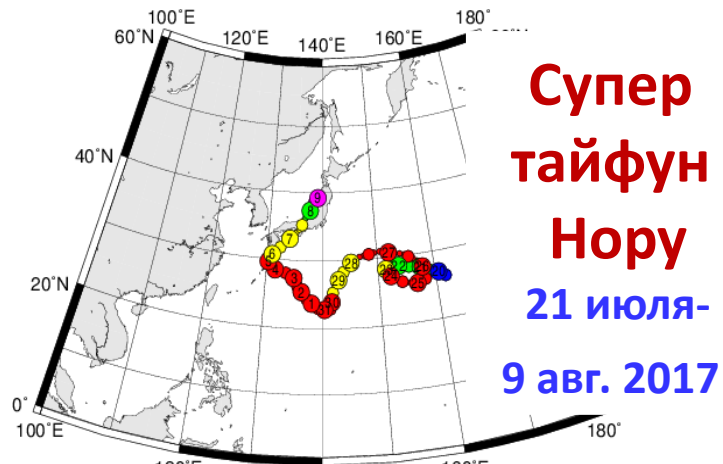
1 - холодный фронт
2 – фронт окклюзии,
SA – Южная Америка
South America.



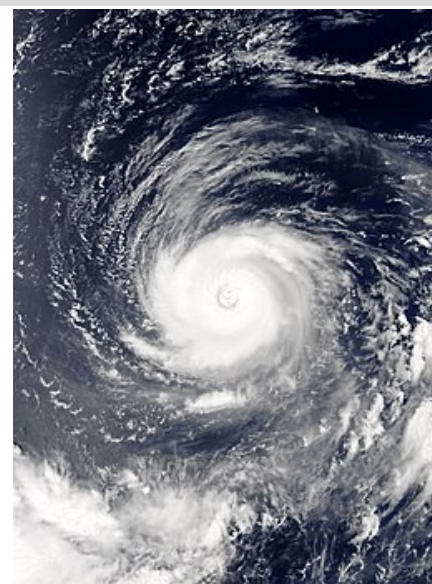
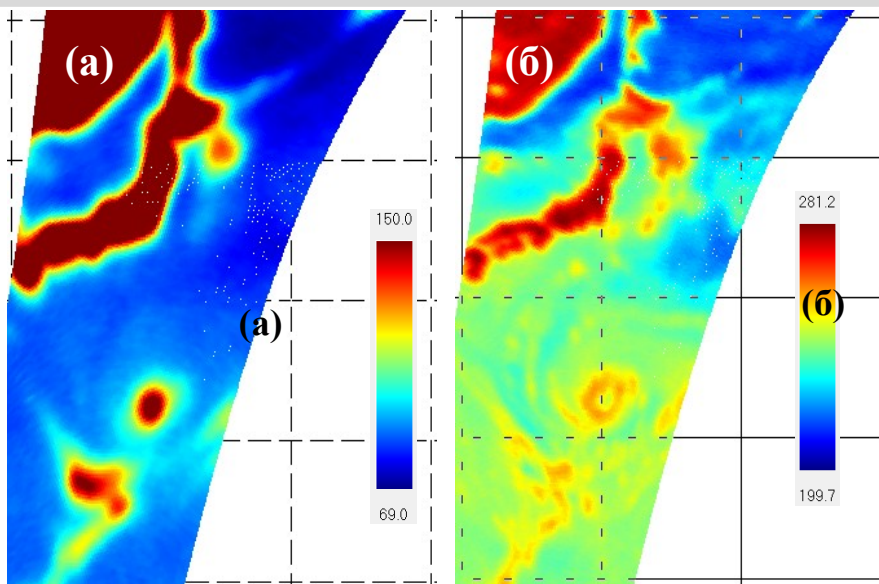
Двухцентровый циклон над северной частью Тихого океана 8 ноября 2016 года: поля яркостных температур на частотах 10,6 ГГц (а, г), 23,8 ГГц (б,д) и 42,0 ГГц (в,е) на Г-поляризации по измерениям радиометра МТВЗА-ГЯ в 00:21Гр. (а-в) и в 11:39 Гр. (г-е)



Двухцентровый циклон над северной частью Тихого океана 8 ноября 2016 г.: яркостные температуры на частотах 10,65 ГГц (а) и 89,0 ГГц (б) на Г-поляризации по измерениям **AMSR2** в 01:15 Гр., карта приземного анализа JMA за 00 Гр. (в) и поля скорости приводного ветра (г) водозаписа облаков (д) и паросодержания атмосферы (е) по данным **AMSR2**. Красные пунктирные линии показывают границы полосы обзора **AMSR2**.

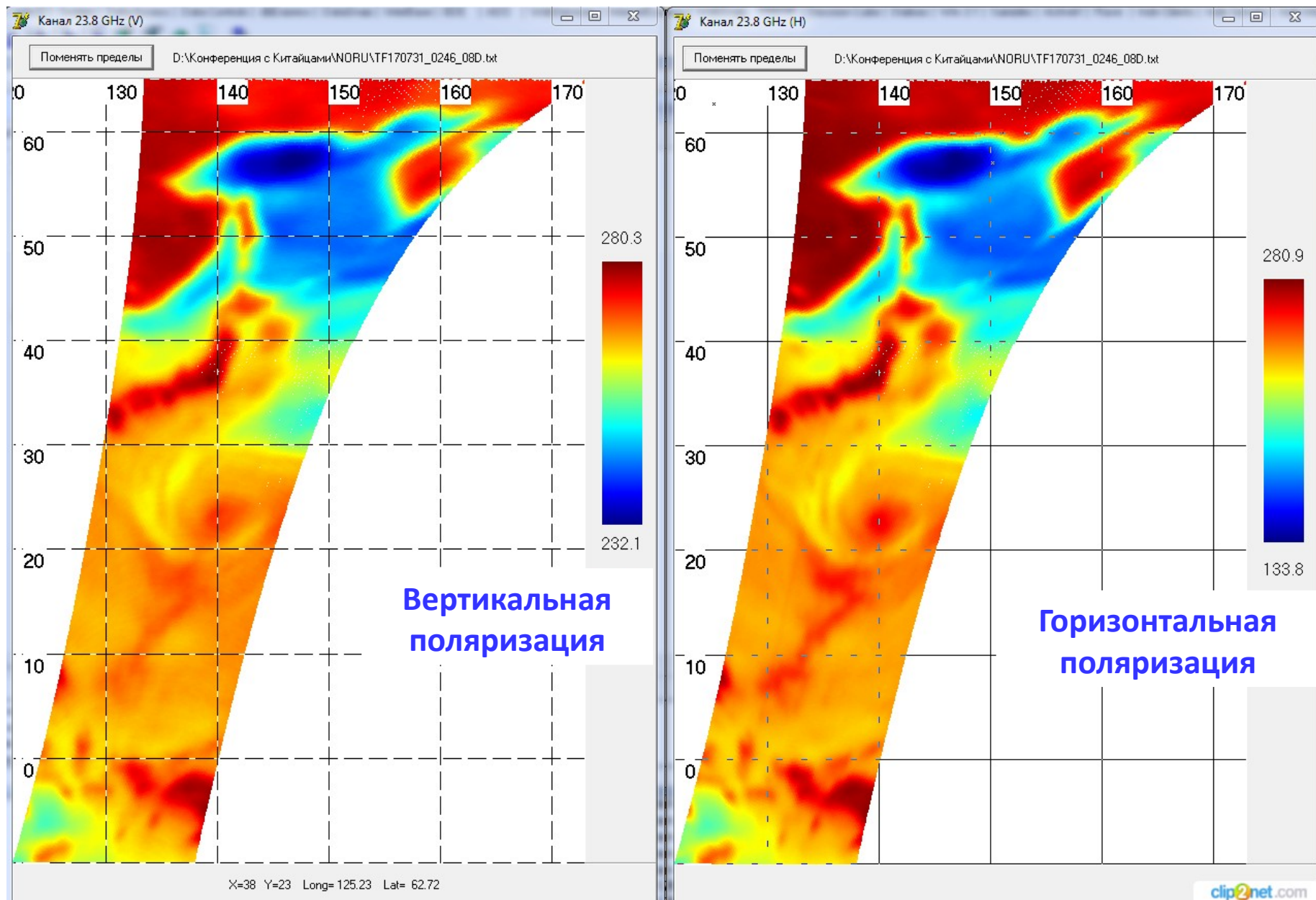


Траектория (а), давление в центре в гПа (б) по данным сайта <http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/>. Кружки показывают положение центра ТЦ, цифры - дату, а цвет отмечает стадию развития: синий – TD, зеленый – TS, желтый – STS, красный - тайфун.



Супер тайфун Нору 31 июля 2017 г. в стадии максимального развития, $P_c = 935$ гПа. Поля яркостных температур на частотах: 10,65 ГГц (а) и 48 ГГц (б) на Г-поляризации по данным **МТВ3А-ГЯ** в 02:46 Гр. и (в) видимое изображение MODIS со спутника Terra.

31 июля 2017, Метеор-М No. 2 МТВЗА-ГЯ, 23.8 ГГц



Выводы

Моделирование Тя атмосферы, коэффициентов излучения земных покровов, выбор тестовых участков для калибровки, разработка алгоритмов восстановления параметров по модельным Тя и их валидация, оценка стабильности функционирования радиометра в полете.

Валидация по продуктам с использованием данных AMSR2 и GMI.