



*Четырнадцатая международная Школа-семинар
Спутниковые методы и системы исследования Земли*

**Полярные циклоны в Арктике.
Циклон над заливом Аляска в марте 2026:
структура и параметры по
мультисенсорным наблюдениям из космоса**

Л.М. Митник, А.В. Баранюк

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН

Владивосток, ул. Балтийская 43, e-mail: lm_mitnik@mail.ru

Измерения с нового поколения спутников: GPM, MetOp-B, RapidSCAT, SCATSAT-1, RADARSAT-2, Sentinel-1, ALOS-2, GCOM-W1, Suomi NPP, Метеор-М № 2-4 и др., выполняемые микроволновыми приборами ДЗЗ: альтиметрами, скаттерометрами, дождевыми локаторами, РСА и радиометрами обеспечивают получение количественных сведений о параметрах атмосферы и подстилающей поверхности с более высокой точностью, пространственным и временным разрешением, чем прежде. Спутниковые данные в сочетании с *моделированием и ИИ* служат основой мониторинга океана, тропических, внетропических и полярных циклонов и других динамических образований в системе атмосфера – океан, морских и материковых льдов, криосферы, совершенствования прогнозов траектории и интенсивности опасных явлений.

Циклонические образования в атмосфере являются важной составляющей глобального климата. В полярных областях Земли циклоническая активность интенсифицируется. Именно циклоны переносят в полярные области основную часть тепла и влаги и влияют на баланс материковых льдов Антарктиды и Гренландии. Из измерений спутниковых скаттерометров и обработки данных реанализов следует, что количество циклонов со штормовыми и ураганскими ветрами над Северной Атлантикой больше, чем над северной частью Тихого океана. Циклоны Южного полушария изучены в меньшей степени.

При изучении циклонов над полярными регионами, ледяных щитов Антарктиды и Гренландии были использованы данные:

- скаттерометров **ASCAT, MetOp-B, RapidSCAT**,
- микроволновых радиометров **AMSR2** на спутнике **GCOM-W1**, **GMI** на спутнике **GPM** и **MTB3A-ГЯ** на спутниках серии **Метеор-М**,
- видимые и ИК-изображения облачности, карты погоды и другая сопутствующая информация,
- *результаты моделирования.*

Для извлечения информации из данных ДЗ было выполнено моделирование переноса микроволнового излучения в системе подстилающая поверхность-атмосфера и разработаны алгоритмы восстановления параметров по измерениям **AMSR2, GMI** и **MTB3A-ГЯ**

ПОЛЯРНЫЕ ЦИКЛОНЫ

Полярные циклоны (ПЦ) — это интенсивные мезомасштабные морские циклоны, образующиеся вблизи заснеженных континентов или у кромки морского льда.

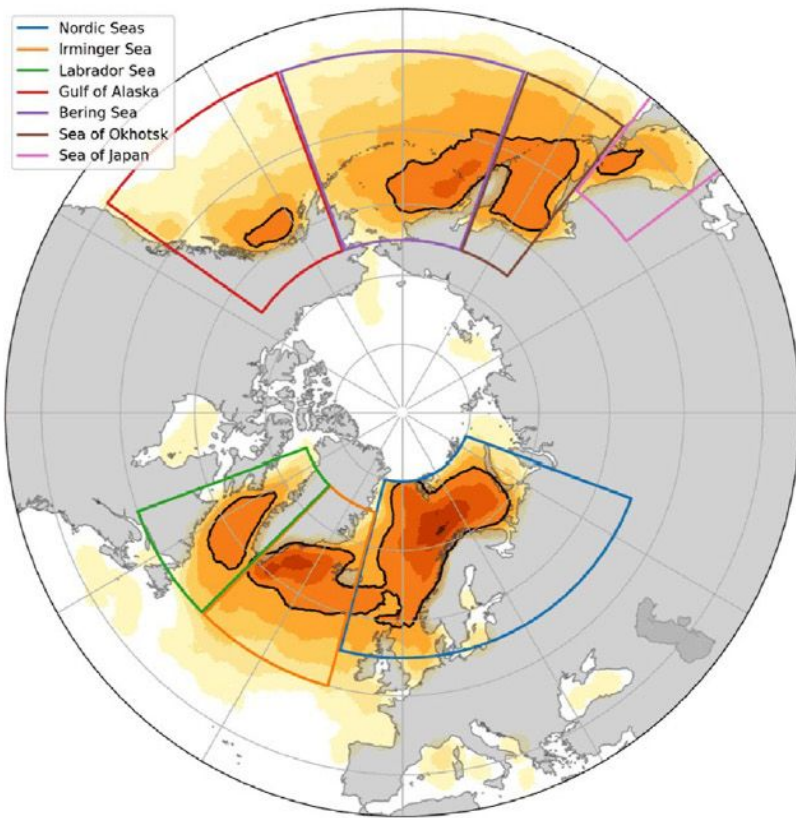
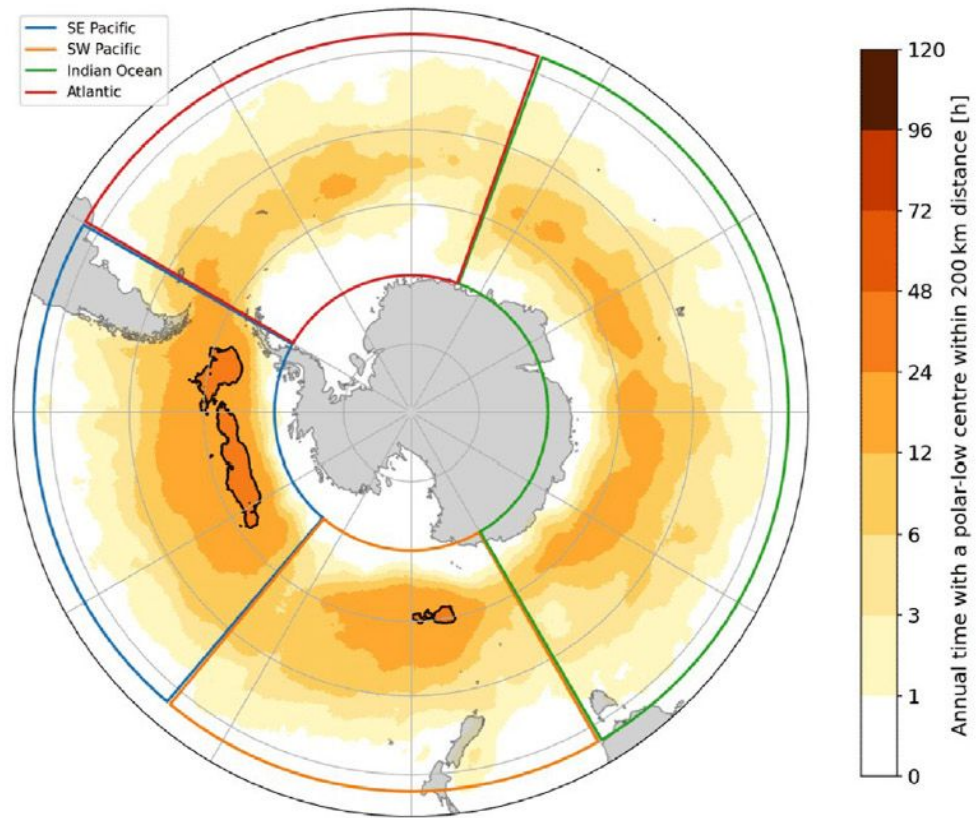
Горизонтальный масштаб ПЦ составляет от 200 до 1000 км, **скорость ветра у поверхности** достигает или превышает штормовую (21-24 м/сек). Типичное время жизни составляет от 12 до 32 час.

Облачность ПЦ имеет форму запятой или спирали и может меняться в течение их существования.

Последний обзор литературы по исследованию полярных циклонов был опубликован 5 лет назад Морено-Ибаньесом и др. (2021).

За последние годы исследования полярных циклонов значительно продвинулись; с использованием глобальной атмосферной модели (Брессон и др., 2022) впервые была получена климатология ПЦ.

Пробелы в знаниях ПЦ необходимо восполнить, выделить перспективные направления исследований с учётом подготовительного этапа планирования **5-го Международного полярного года (МПГ) 2032–2033.**

A**B****FIGURE 2**

Annual mean density of polar low activity, defined as the number of polar low time steps within 200 km, for the (A) Northern Hemisphere and (B) Southern Hemisphere. The scale of the colorbar is logarithmic. Regions with polar low activity larger than 24 h yr^{-1} are delimited by a black contour. © Stoll (2022). This work is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 License (CC BY 4.0; <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>). No changes have been made.

18 марта 2026

Anchorage

Polar low

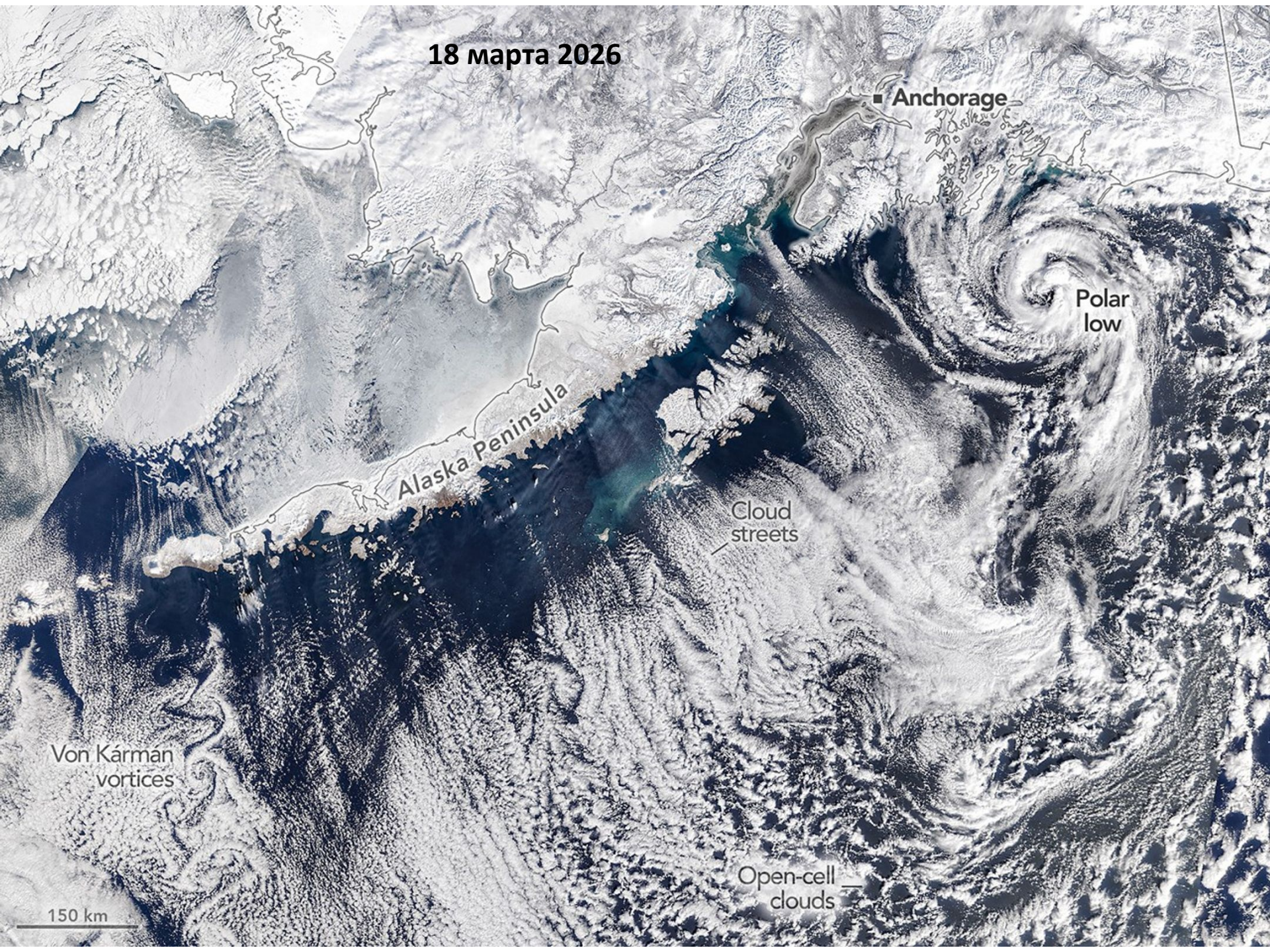
Alaska Peninsula

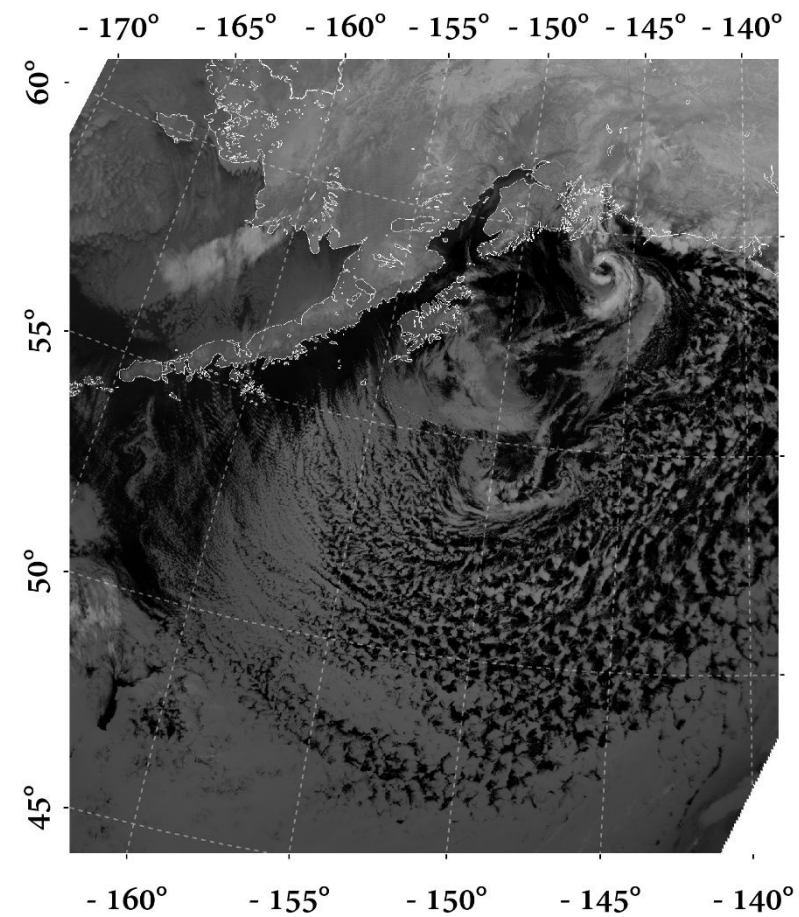
Cloud streets

Von Kármán vortices

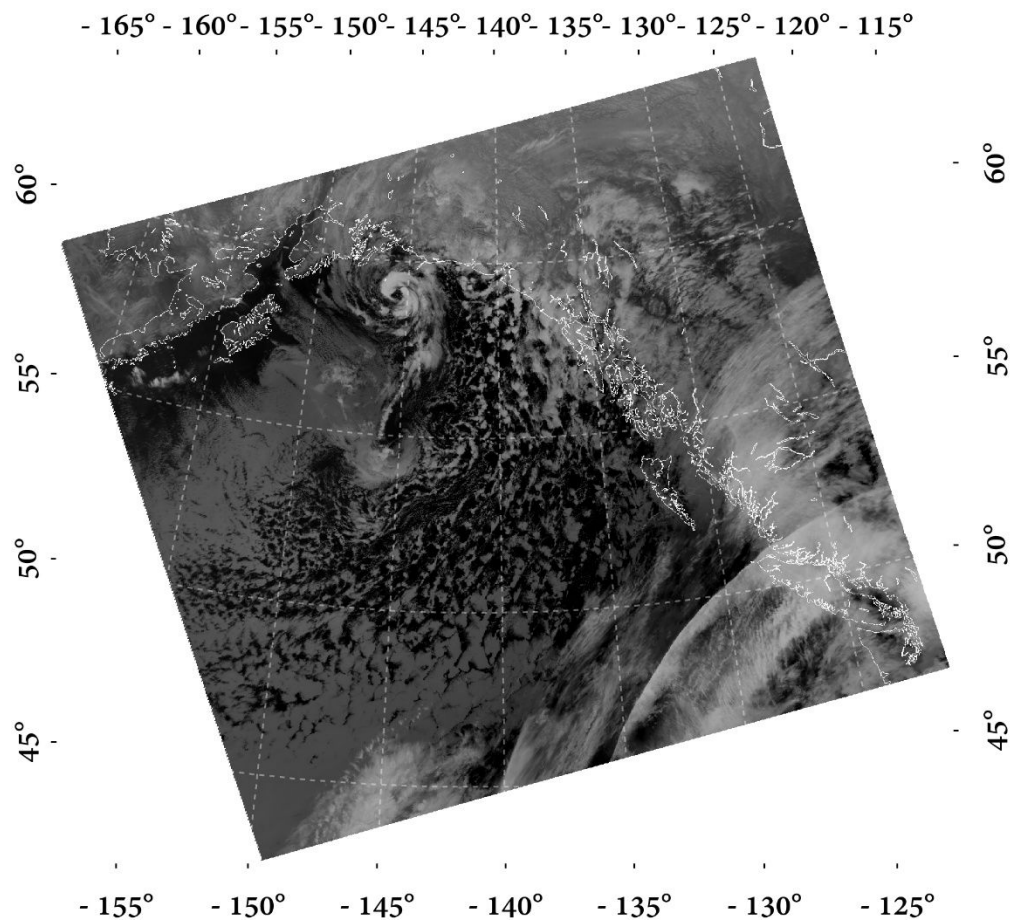
Open-cell clouds

150 km





Aqua_18Mar2026_1410_band31.



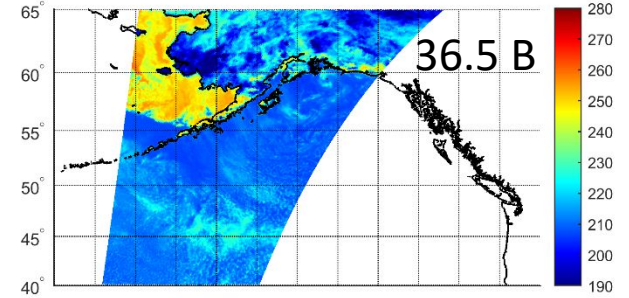
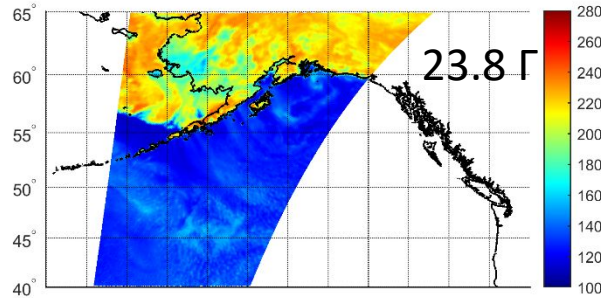
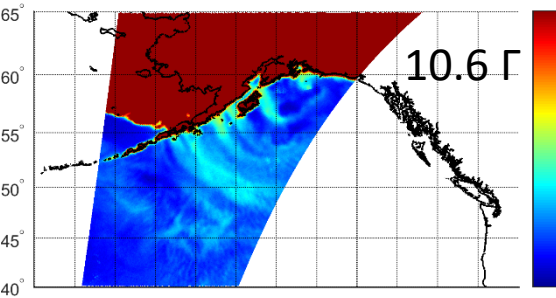
Aqua_18Mar2026_2345_band31

AMSR2_18Mar2026_1410

-180° -175° -170° -165° -160° -155° -150° -145° -140° -135° -130° -125° -120°

-180° -175° -170° -165° -160° -155° -150° -145° -140° -135° -130° -125° -120°

-180° -175° -170° -165° -160° -155° -150° -145° -140° -135° -130° -125° -120°

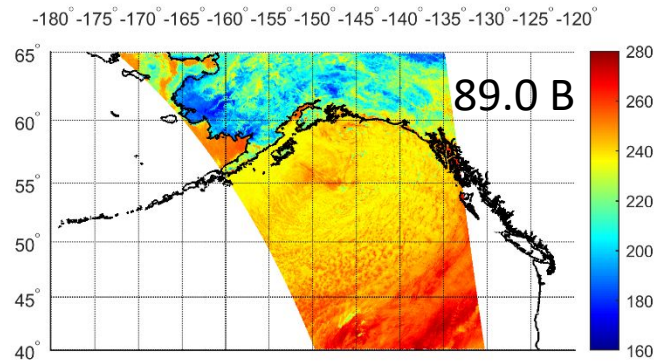
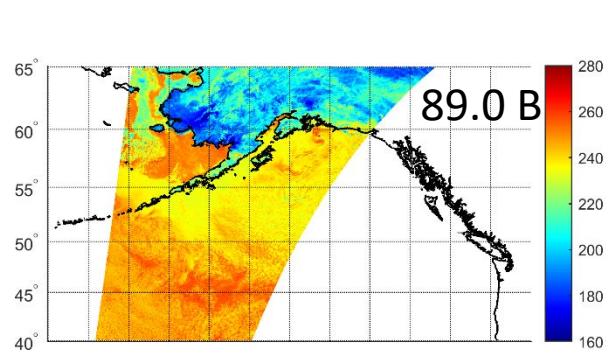
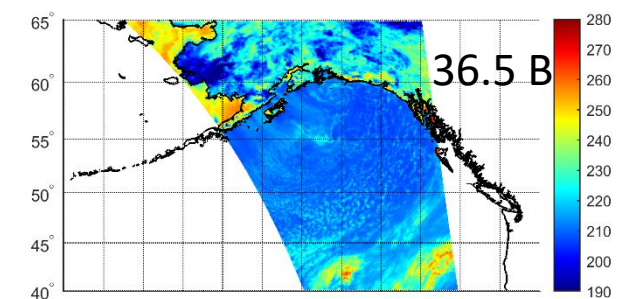
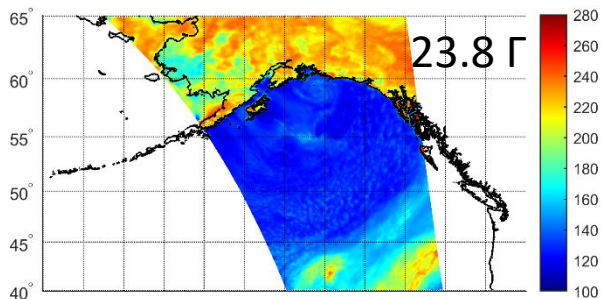
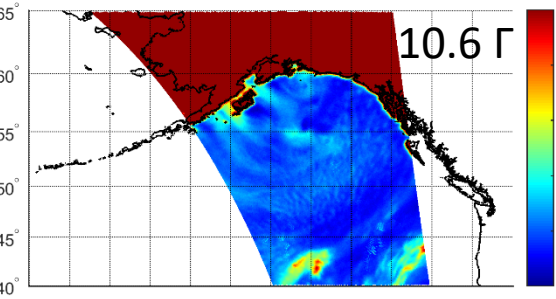


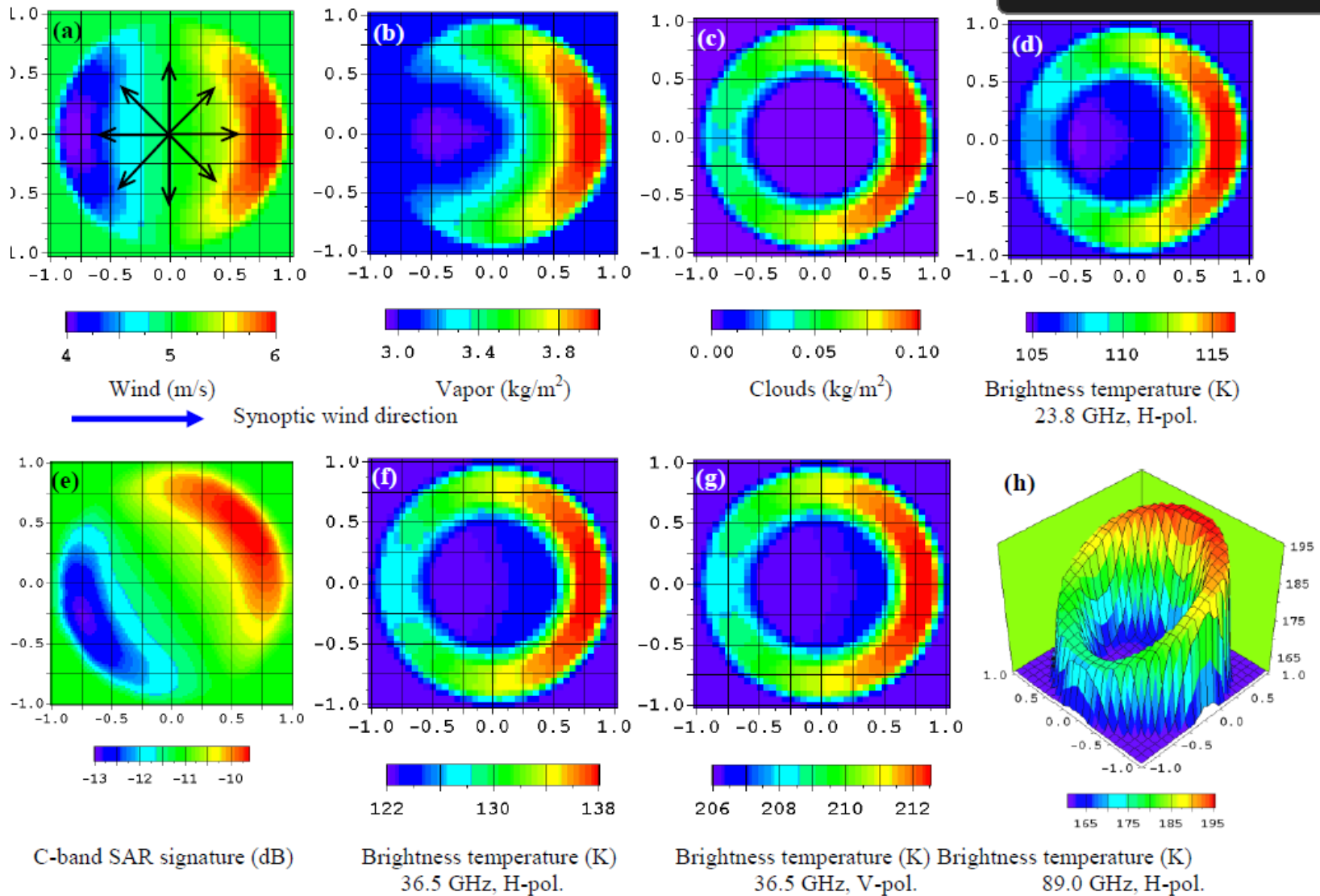
AMSR2_18Mar2026_2345

-180° -175° -170° -165° -160° -155° -150° -145° -140° -135° -130° -125° -120°

-180° -175° -170° -165° -160° -155° -150° -145° -140° -135° -130° -125° -120°

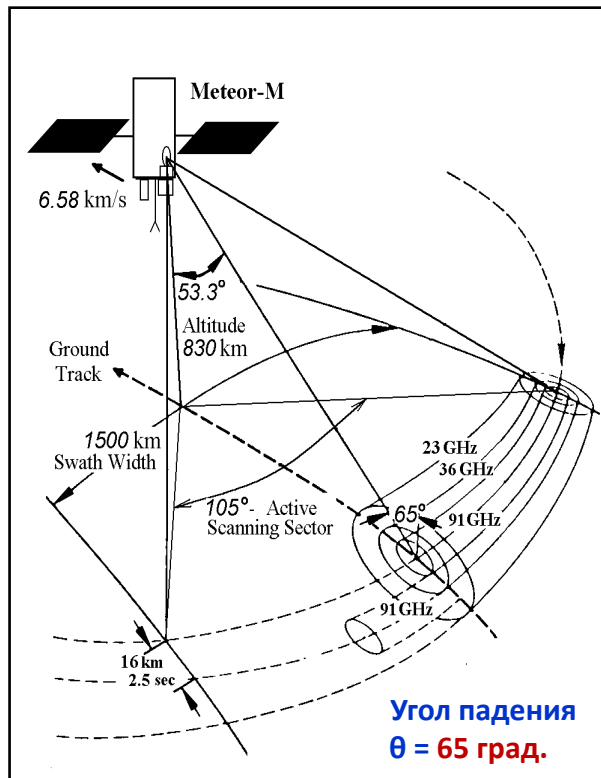
-180° -175° -170° -165° -160° -155° -150° -145° -140° -135° -130° -125° -120°





Fields of sea surface wind (a), total water vapor content (b) and total cloud liquid water content (c) in an open cell constructed in dimensionless coordinates and fields of simulated brightness temperatures at 23.8 GHz with H-pol (d), at 36.5 GHz with H-polarization (f) and V-polarization (g) and at 89.0 GHz with H-polarization (h) and field of C-band Normalized Radar Cross Section (e) corresponding to fields (a) – (c). Sea surface temperature is 0°C .

Метеорологические спутники серии Метеор-М с радиометром МТВЗА-ГЯ запускают с космодрома "Восточный" с июля 2014 г. Метеор-М № 2-3 и 2-4



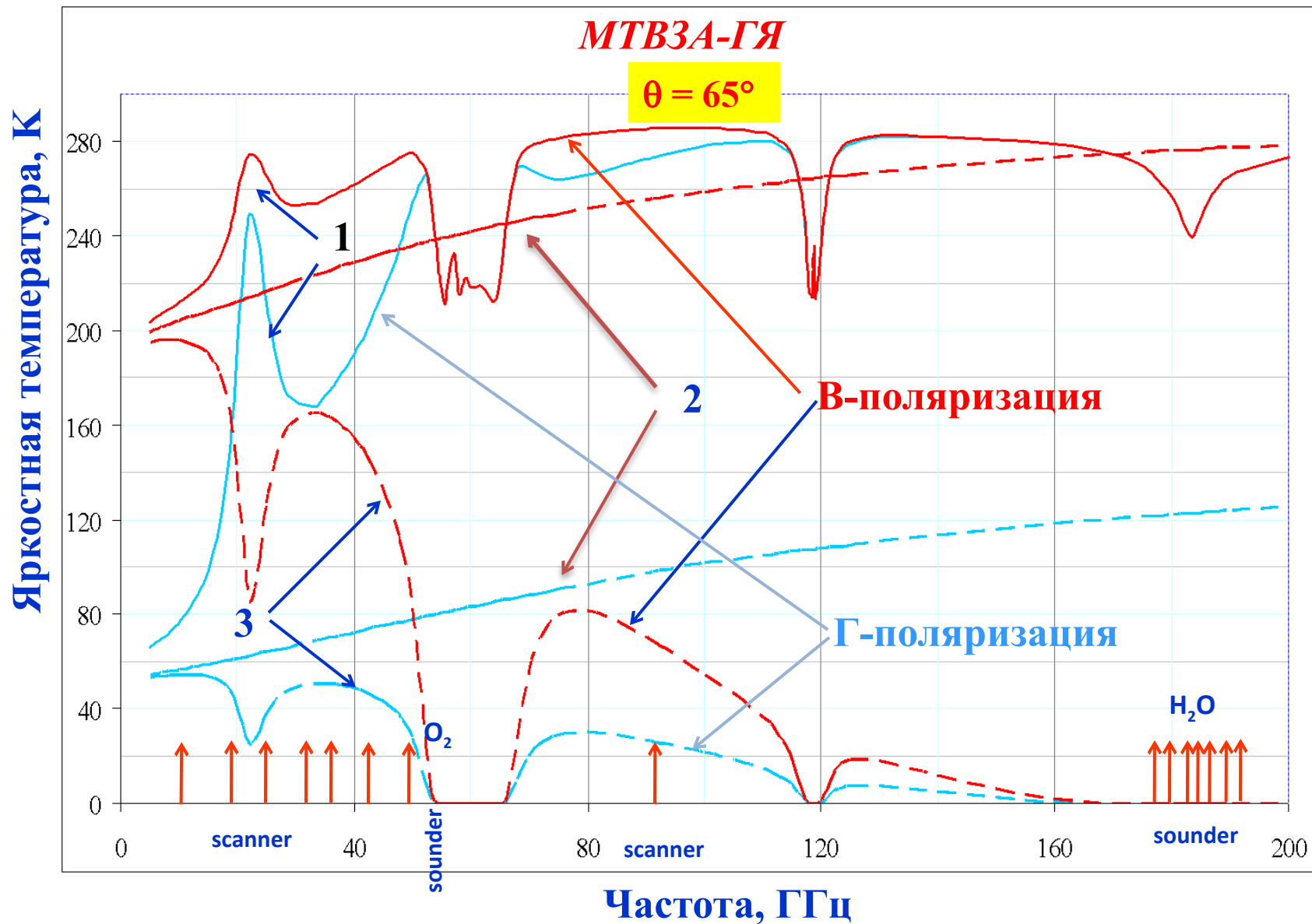
Частота, ГГц / поляризация	Поле зрения, км × км	Размер пикселя км×км
6.9/В,Г	133 x 297	32 x 32
10.6/В,Г	89 x 198	32 x 32
18.7/В,Г	52 x 116	32 x 32
23.8/В,Г	42 x 94	32 x 32
31.5/В,Г	35 x 76	32 x 32
36.5/В,Г	30 x 67	32 x 32
42.0/В,Г	26 x 60	32 x 32
48.0/В,Г	24 x 43	32 x 32
91.65/В,Г	14 x 30	16 x 16
52.8/ В	O1	
53.3/В	O2	
53.8/В	O3	
54.64/В	O4	
55.63/В	O5	
$\nu_0 \pm 0.1/\Gamma$	O6	$\nu_0 = 57,290344 \pm 0,322$ ГГц
$\nu_0 \pm 0.05/\Gamma$	O7	
$\nu_0 \pm 0.025/\Gamma$	O8	
$\nu_0 \pm 0.01/\Gamma$	O9	
$\nu_0 \pm 0.005/\Gamma$	O10	
183.31±70/В	H1	Водяной пар
183.31±3.0/В	H2	
183.31±1.4/В	H3	

Чувствительность каналов радиометра в космосе $\approx 0,3-0,5$ К/пиксель.

МТВЗА-ГЯ - Микроволновый Температурно-Влажностный Зондировщик Атмосферы

Ширина полосы обзора 1500 км. № 2-2 2500 км на восходящих витках и 1500 км на нисходящих (из-за затенения солнечными панелями).

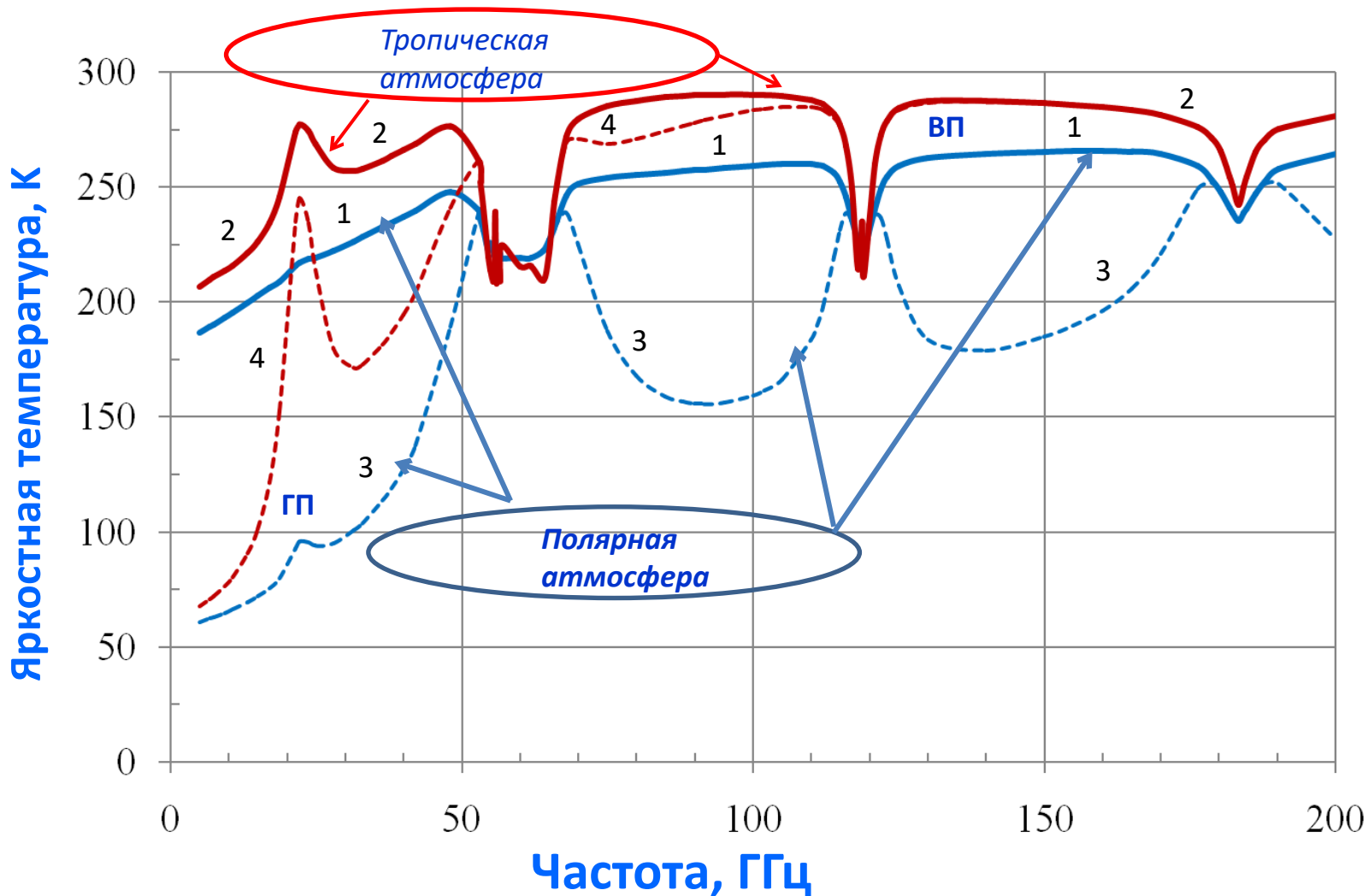
Спектры яркостной температуры системы океан-атмосфера (*кривые 1*) и океана на нижней $T_{\text{Яокеан}} = \kappa T_s$ (*кривые 2*) и верхней $T_{\text{Яокеан}} = \kappa T_s [\exp(-\tau \sec \theta)]$ (*кривые 3*) границах атмосферы. ТПО = 28°C, $W = 5 \text{ м/с}$, $V = 55 \text{ кг/м}^2$, $Q = 0.0 \text{ кг/м}^2$



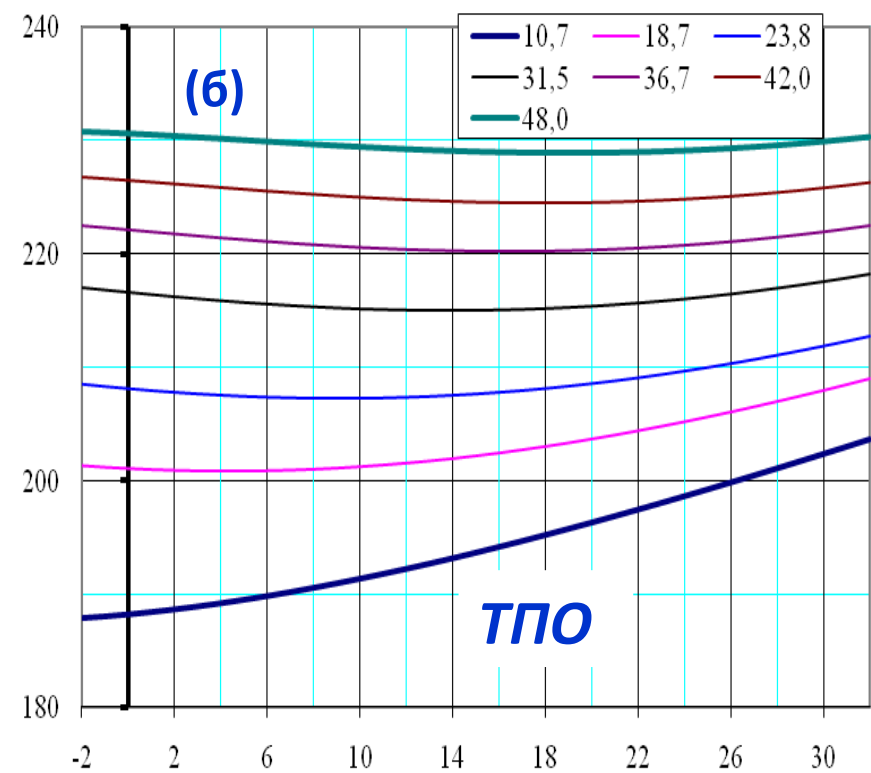
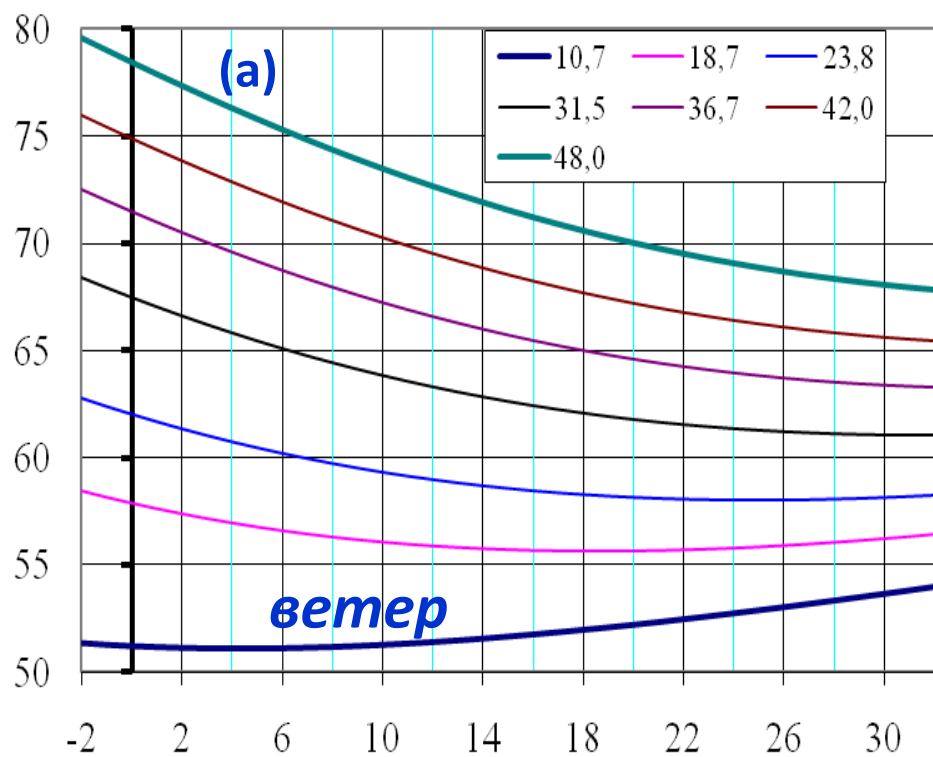
Яркостная температура системы безоблачная атмосфера – океан на вертикальной (сплошные линии 1, 2) и горизонтальной (пунктирные линии 3, 4) поляризациях при $\theta = 65^\circ$, по судовым радиозондам:

1 и 3 – сухая полярная атмосфера: $V = 3,7 \text{ кг/м}^2$, ТПО = $3,7^\circ \text{C}$, $W = 2 \text{ м/с}$

2 и 4 – влажная тропич. атмосфера: $V = 51,0 \text{ кг/м}^2$, ТПО = $30,8^\circ \text{C}$, $W = 2 \text{ м/с}$



Зависимость яркостной температуры гладкой поверхности океана на частотах **МТВЗА-ГЯ** на горизонтальной (а) и вертикальной (б) поляризациях от ТПО при угле падения 65 градусов

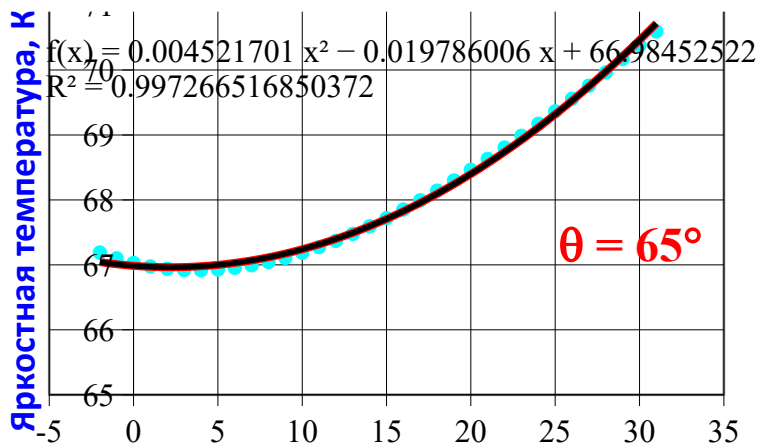


Температура поверхности океана, °С

Яркая температура гладкой поверхности океана на частоте 10,65 ГГц, Г-пол. $T_{\text{Яок}}(10\text{Г})$

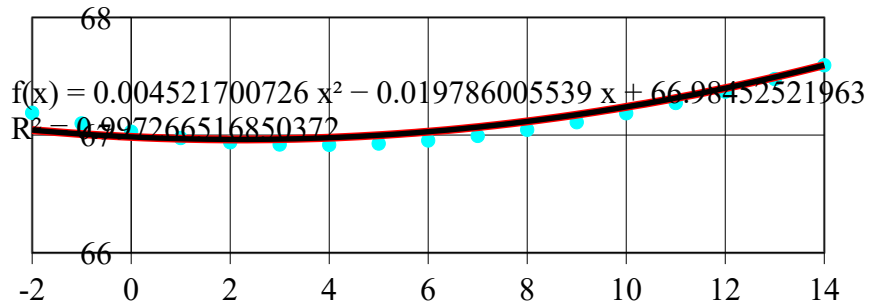
$$T_{\text{Яок}} = 66.985 - 0.0198t_0 + 0.0045t_0^2$$

$$R^2 = 0.997$$



Температура поверхности t_0
Мировой океан

$$T_{\text{Яок}} = 67.03 - 0.0543t_0 + 0.0068t_0^2 \quad R^2 = 0.997$$



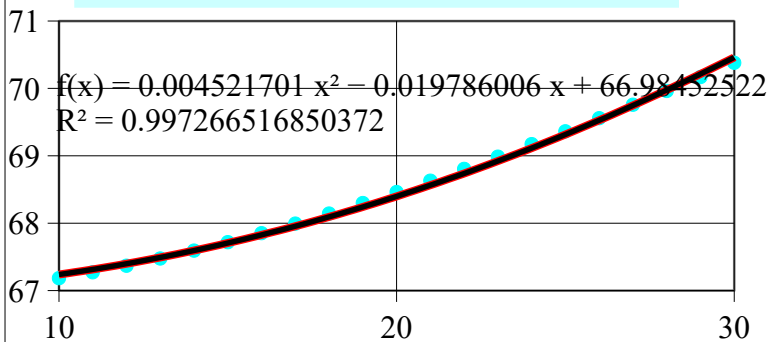
Температура поверхности t_0 (°C)

Высокие и умеренные широты

$$T_{\text{Яок}} < 0.5 \text{ К at } -1.8^\circ\text{C} < t_{\text{oc}} < +12^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{Яок}} = 66.28 + 0.0549t_0 + 0.0027t_0^2 \quad R^2 = 0.995$$

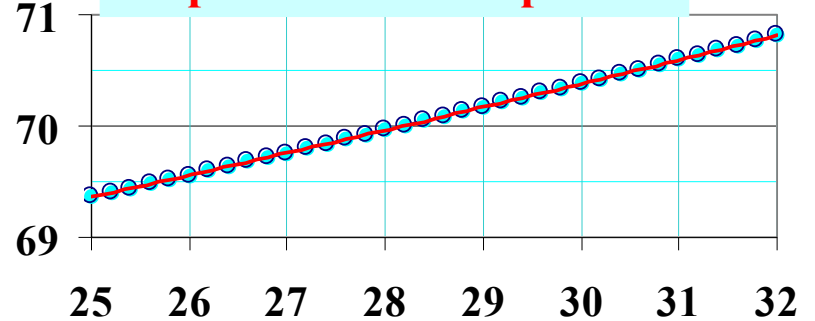
Умеренные и тропические широты



Температура поверхности t_0 (°C)

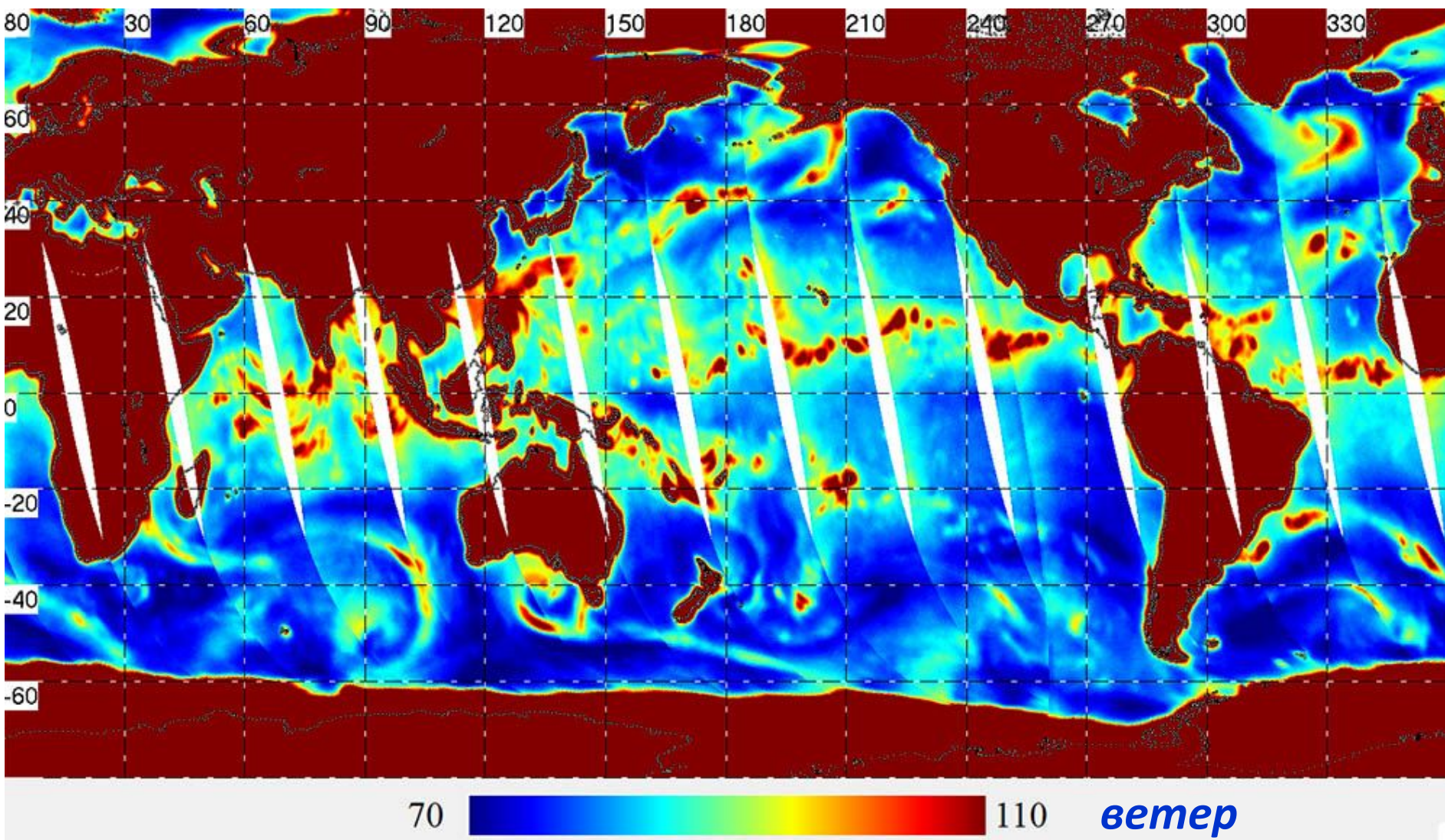
$$T_{\text{Яок}} = 65.63 + 0.104t_0 + 0.0018t_0^2$$

Тропические широты



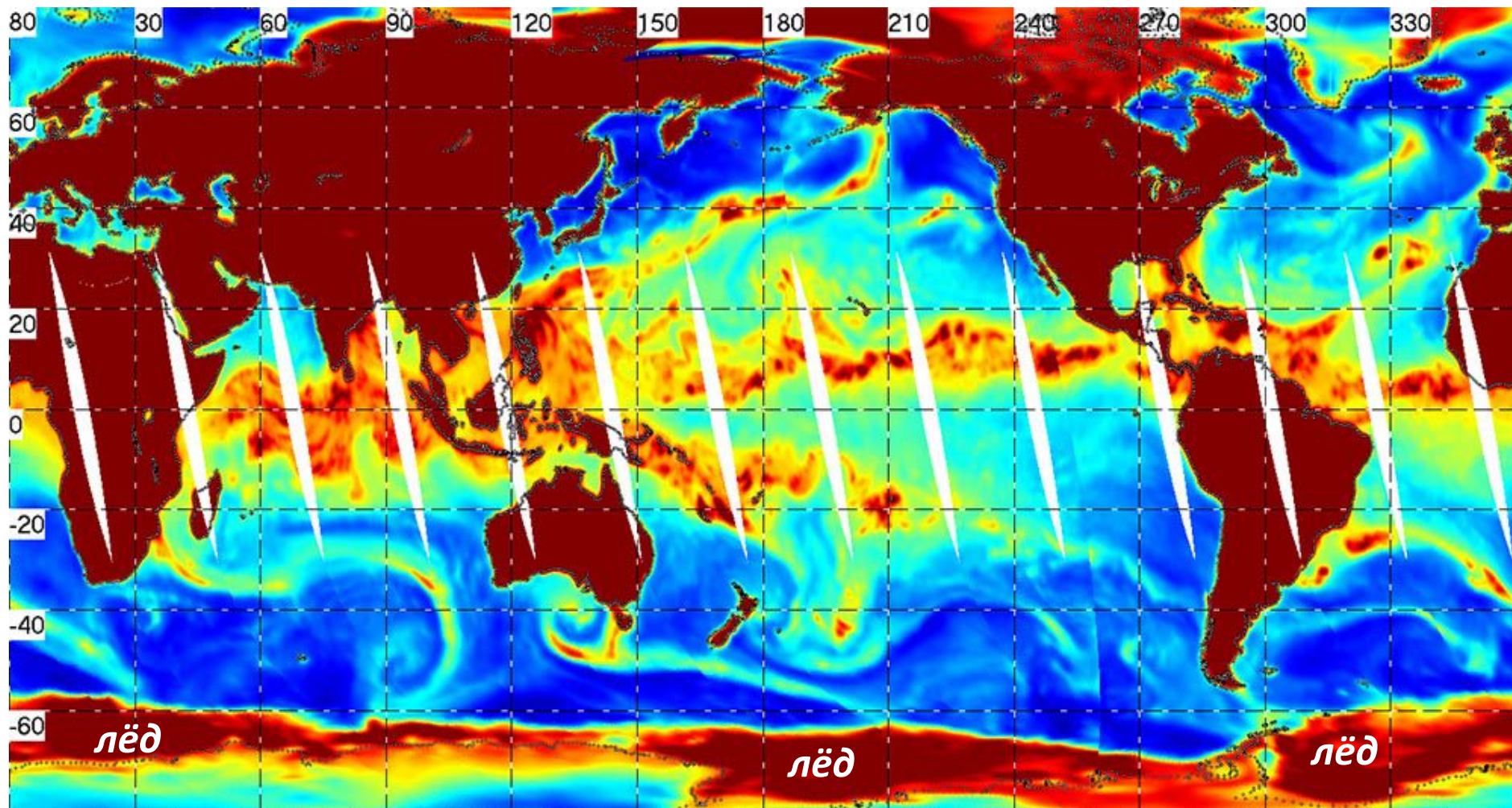
Температура поверхности t_0 (°C)

Яркая температура Земли на частоте 10,65 ГГц на Г-пол. по измерениям **МТВЗА-ГЯ** со спутника **Метеор-М № 2-2** 11.11.2020



Яркая температура, К

Яркая температура Земли на частоте 18,7 ГГц на Г-пол. по измерениям **МТВЗА-ГЯ** со спутника **Метеор-М № 2-2** 11.11.2020



Атмосфера над океаном

80

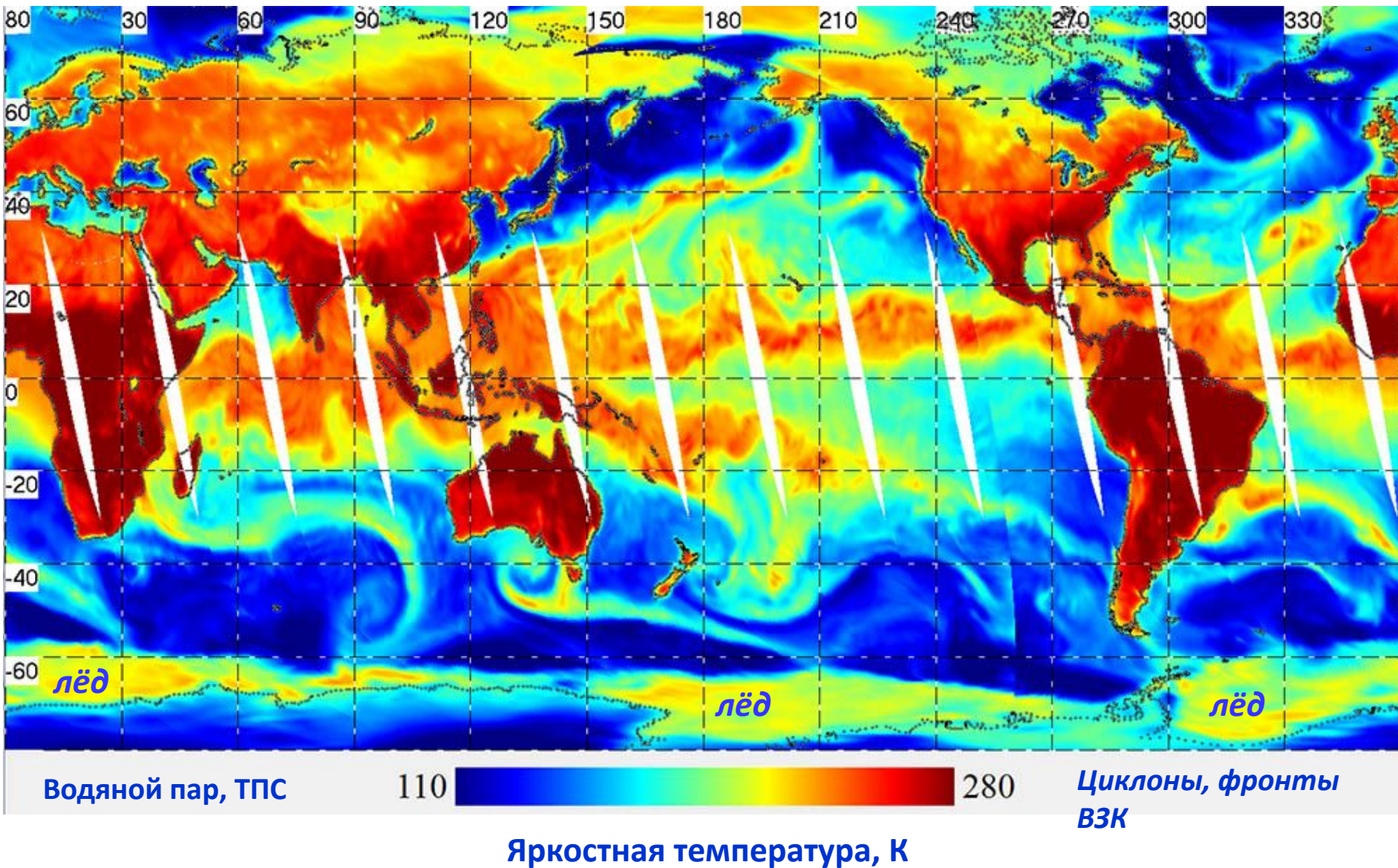


200

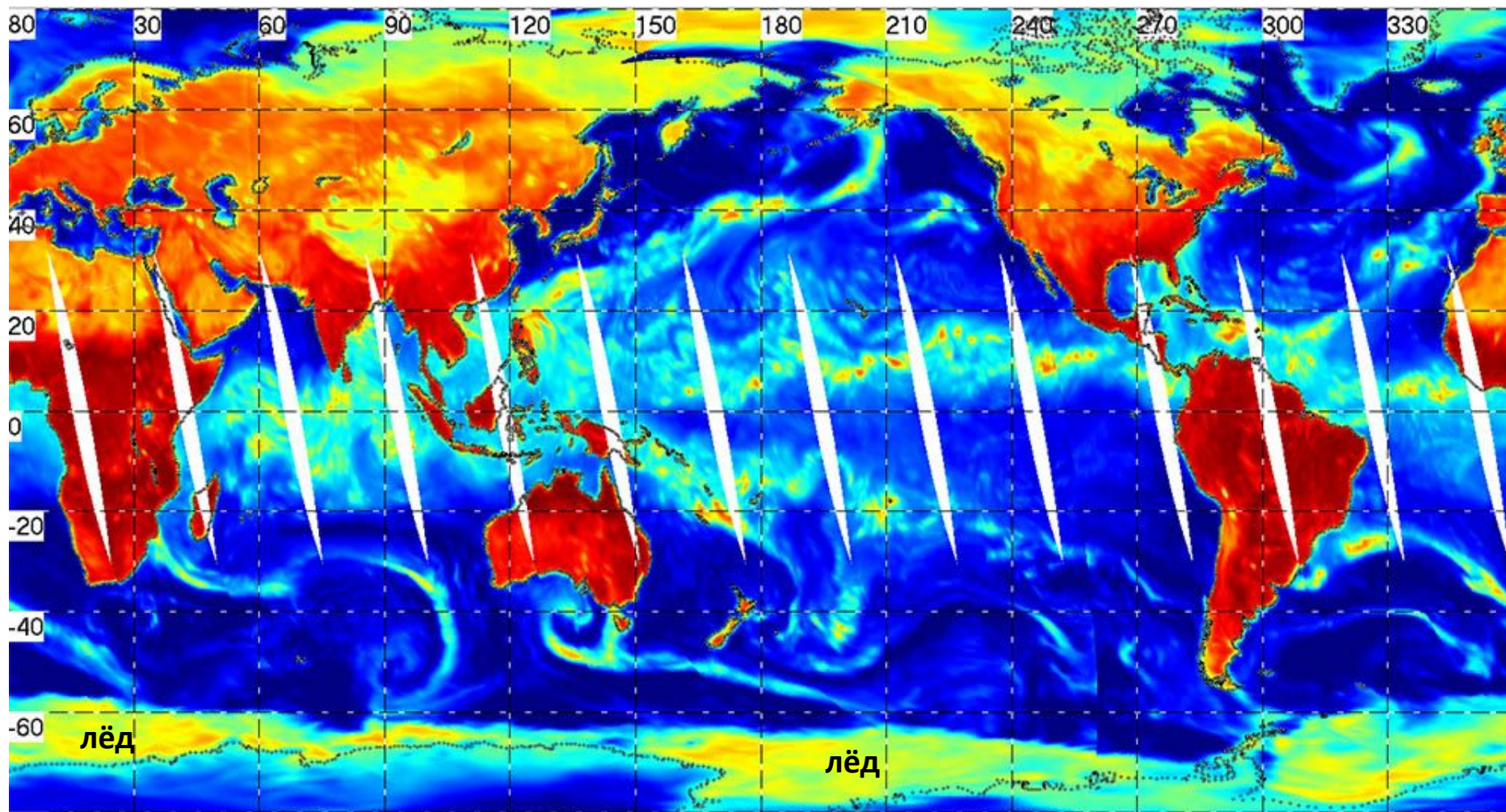
Яркая температура, К

Циклоны, фронты ВЗК, осадки

Яркая температура Земли на частоте 23,8 ГГц на Г-пол. по измерениям **МТВЗА-ГЯ** со спутника **Метеор-М № 2-2** 11.11.2020

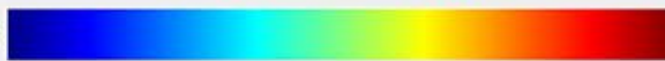


Яркостная температура Земли на частоте 31,5 ГГц на Г-пол. по измерениям **МТВЗА-ГЯ** со спутника **Метеор-М № 2-2** 11.11.2020



ТПС

110

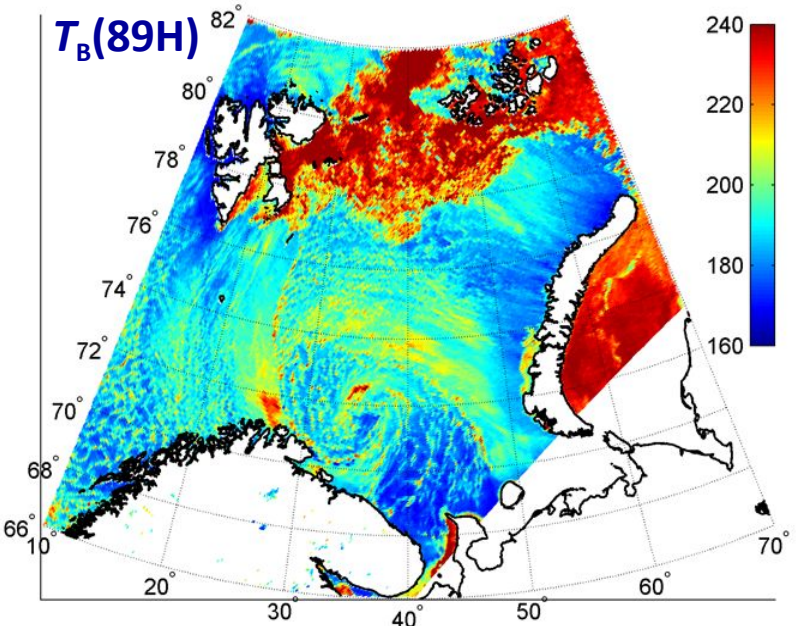
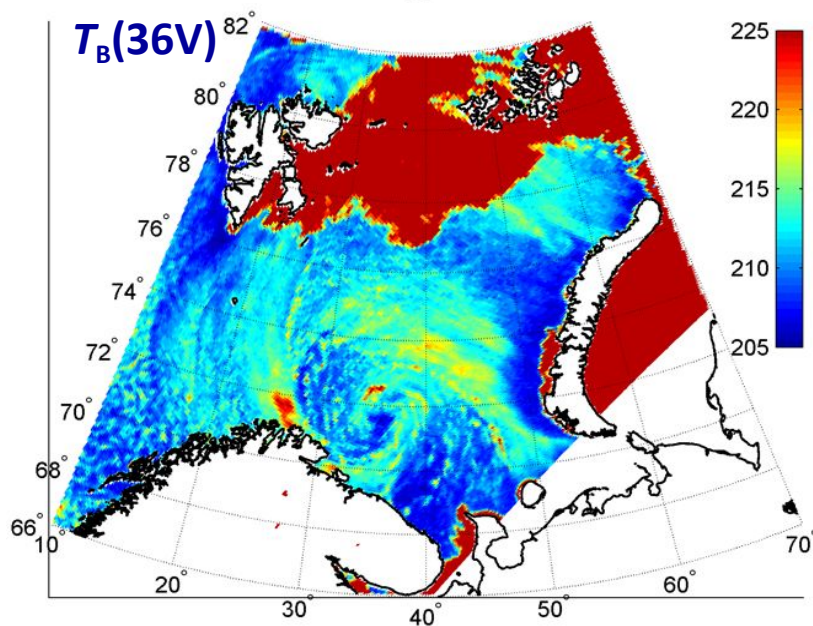
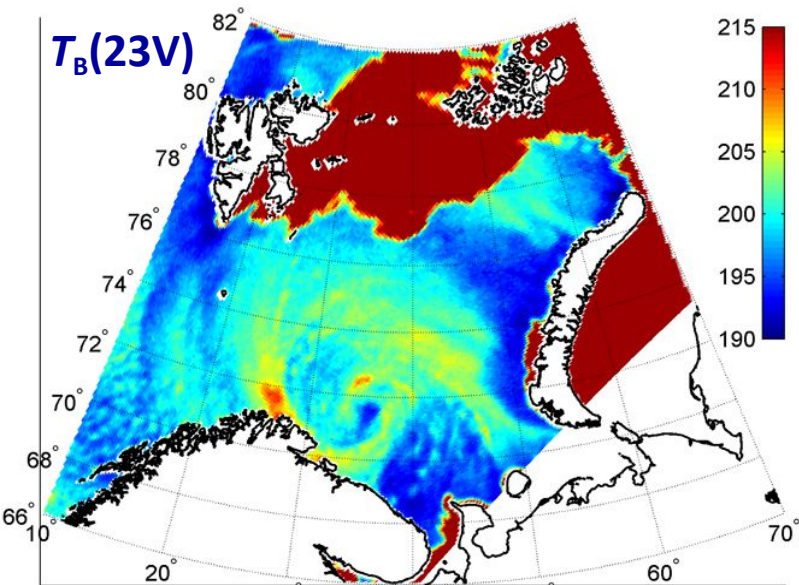
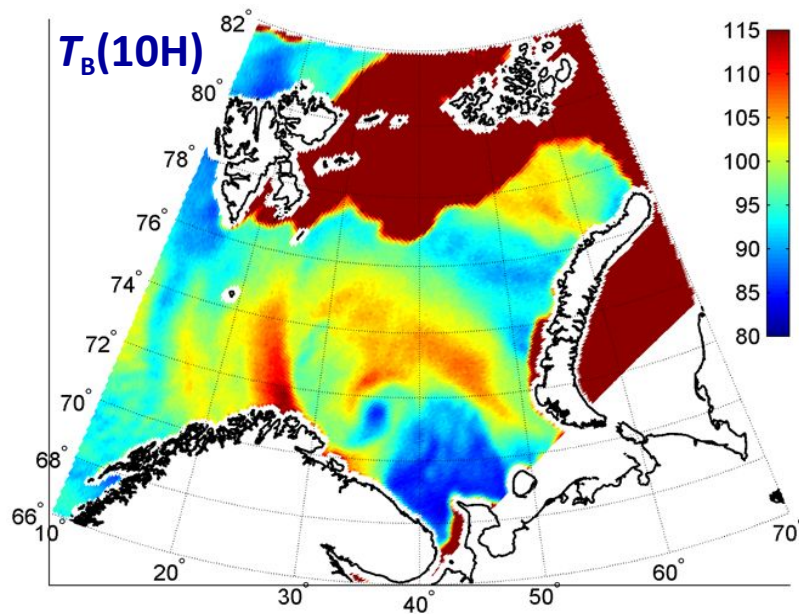


290

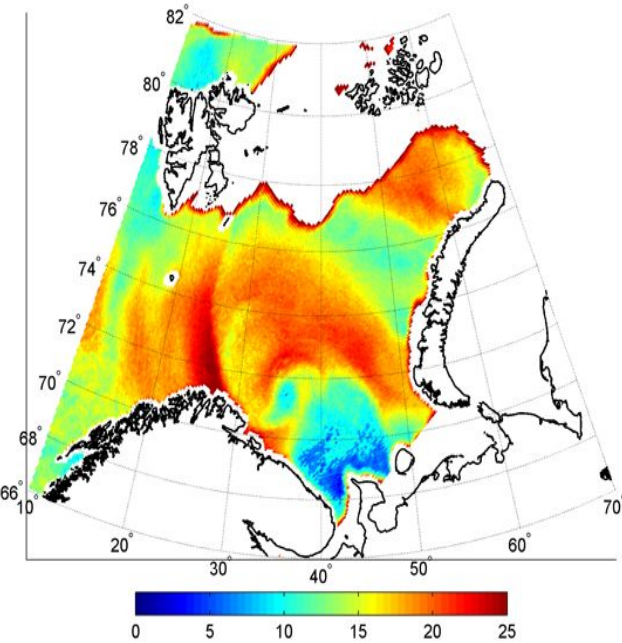
*Циклоны, фронты
ВЗК, осадки*

Яркостная температура, К

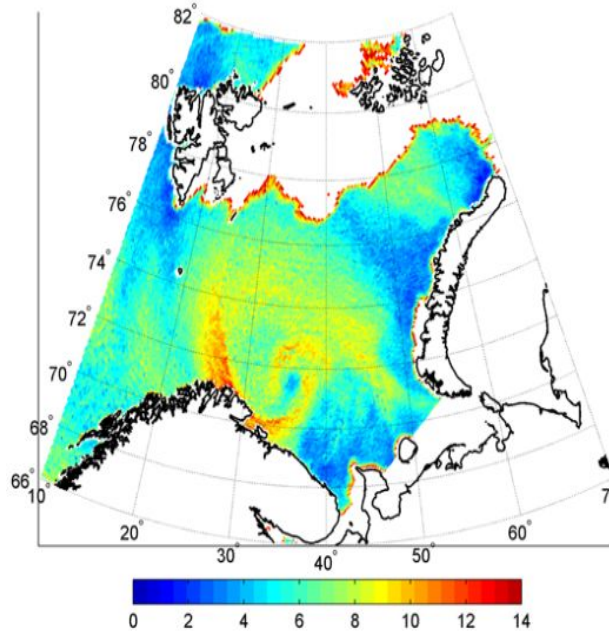
GCOM-W1 AMSR2 brightness temperatures . 23 January, 9:30 UTC



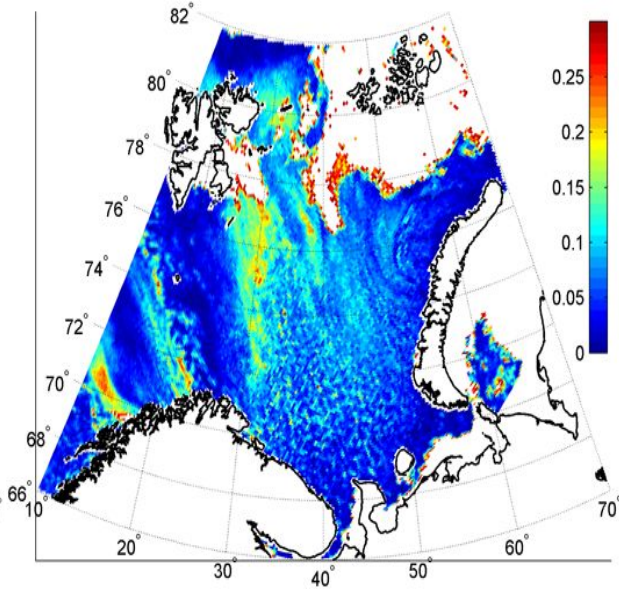
Barents Sea. Retrieved parameters from the brightness temperatures measured by GCOM-W1 AMSR2 on 23 January at 9:30 UTC



Wind speed, m/s

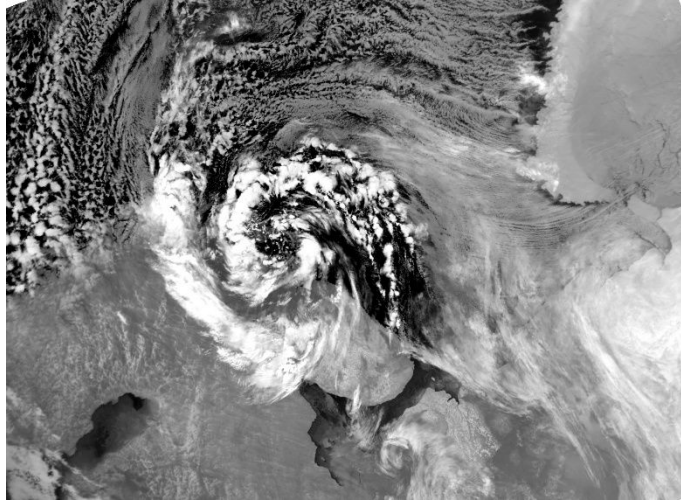


Total water vapor content, kg/m²



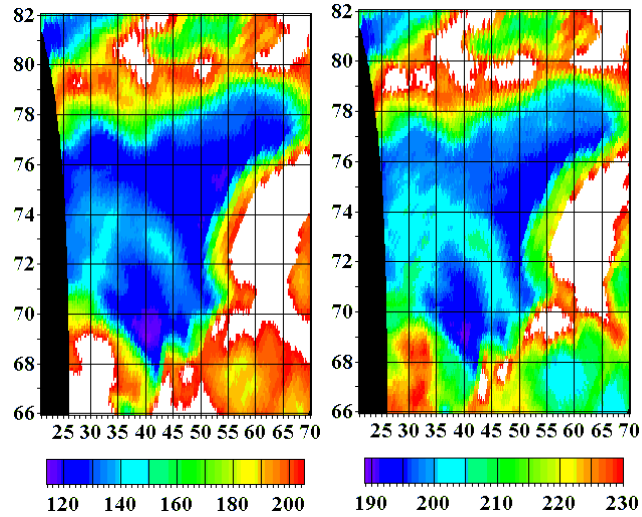
Total cloud liquid water content, kg/m²

23 January 2013



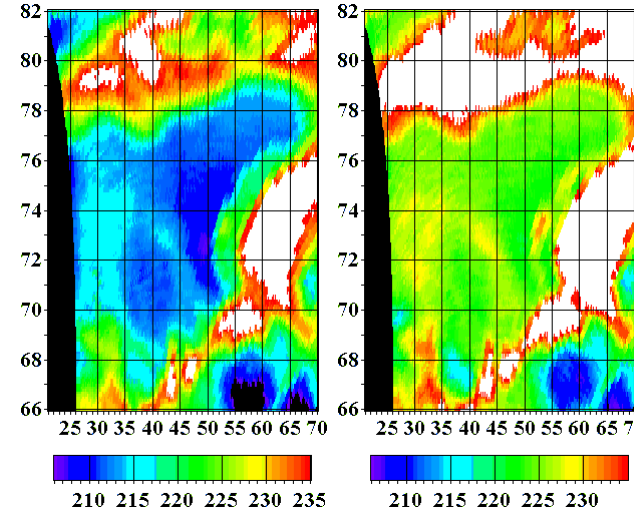
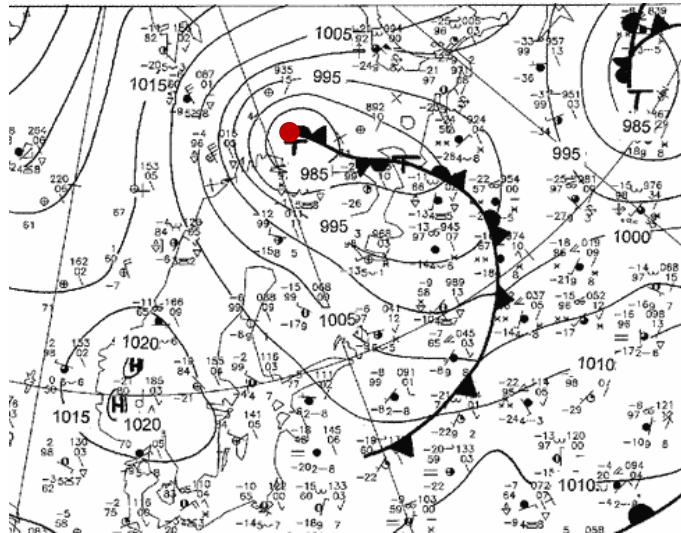
Infrared image MODIS,
satellite Aqua, 09:35 UTC

Brightness temperatures, radiometer MTVZA-GYa,
Meteor-M №1, 07:55 UTC



Tb(31H)(K)

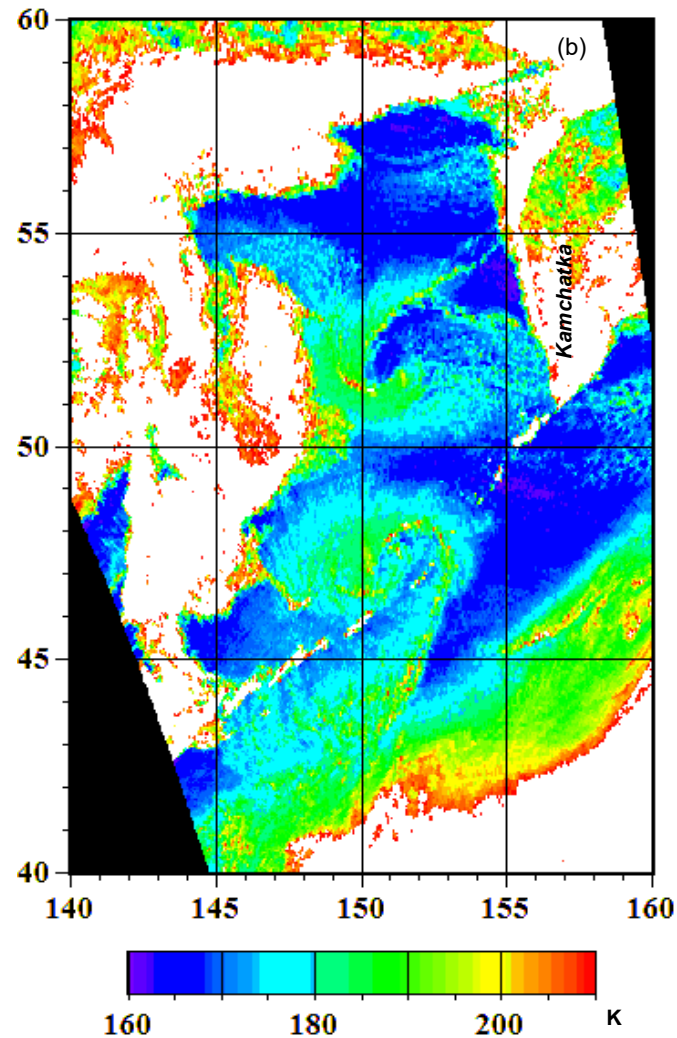
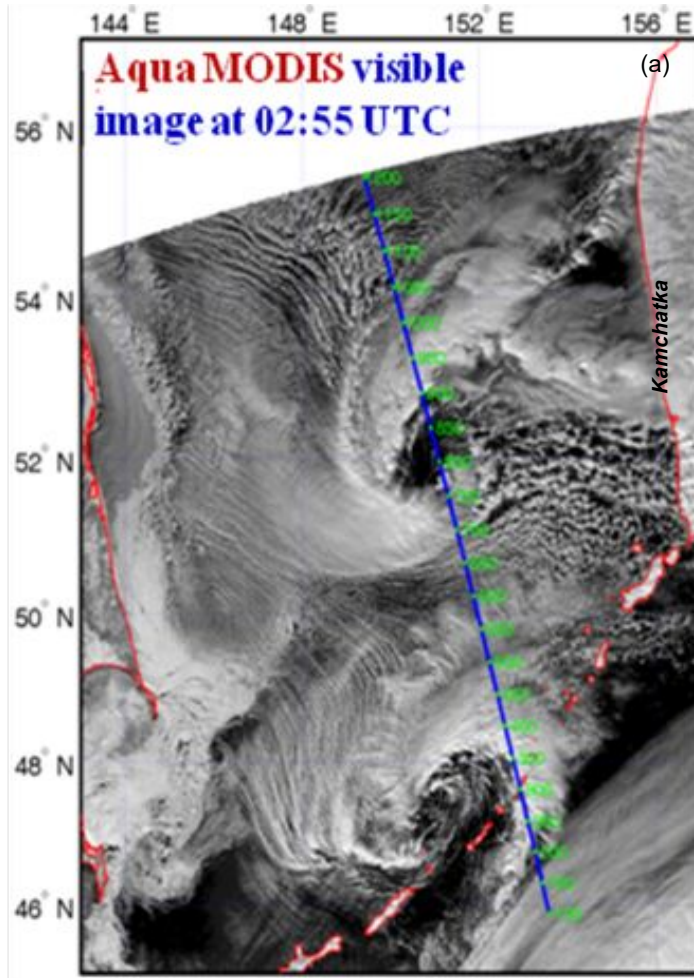
Tb(48H)(K)



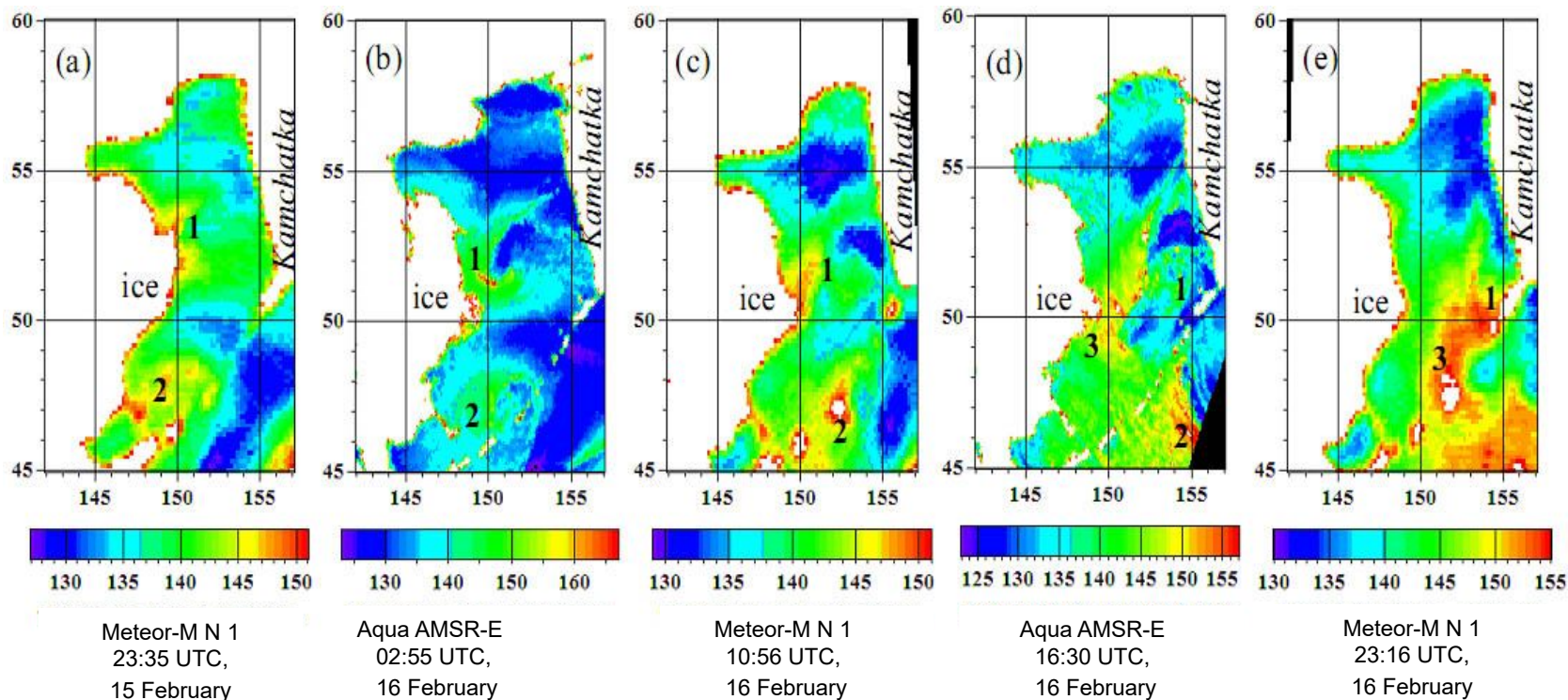
Tb(31V)(K)

Tb(48V)(K)

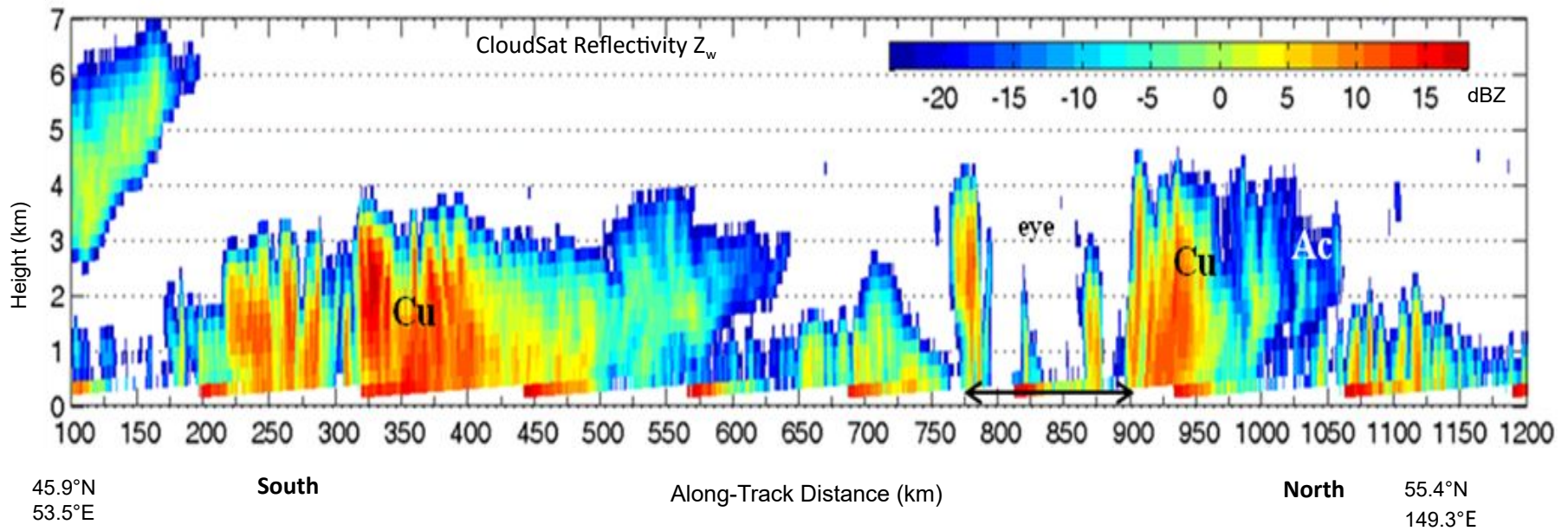
Surface analysis chart 06:00 UTC



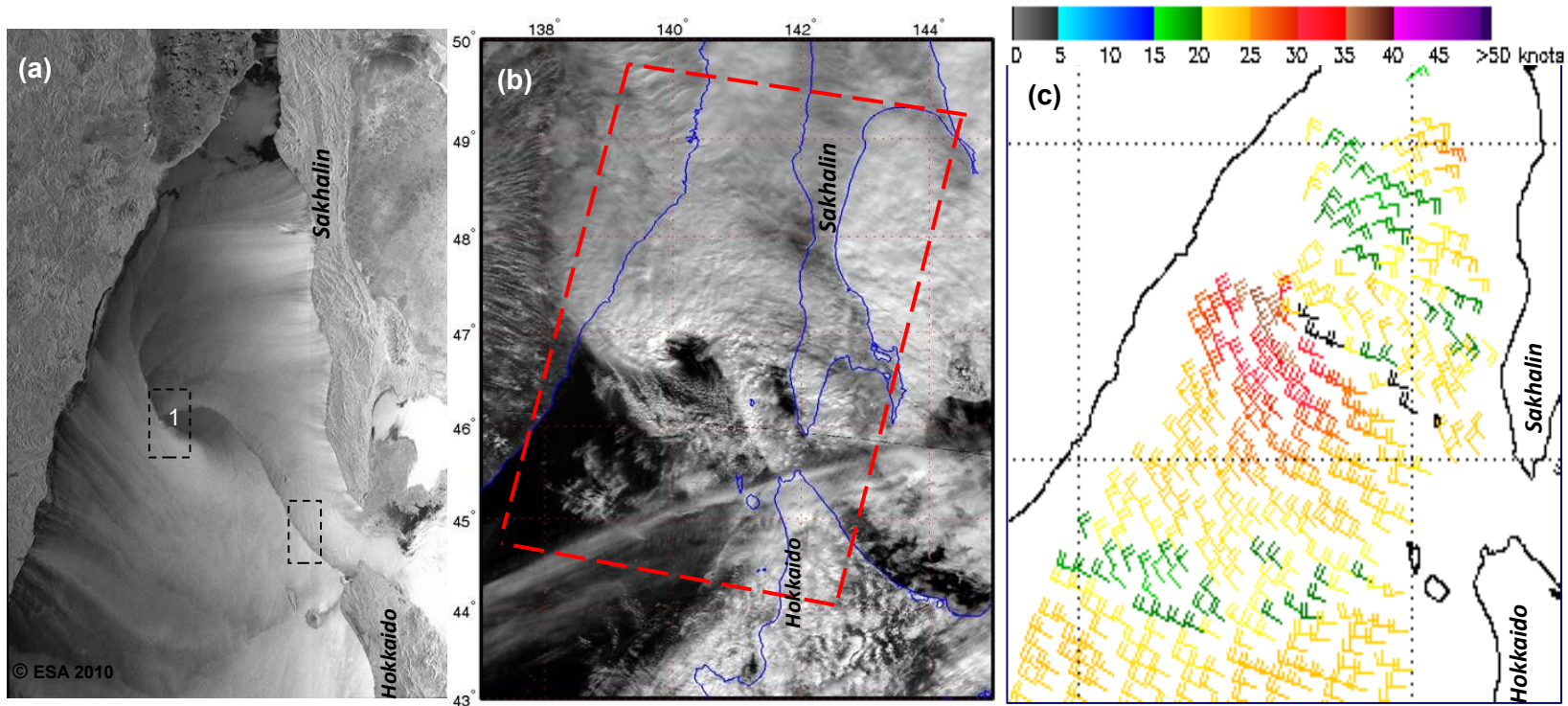
Mesocyclones over the Okhotsk Sea on 16 February 2010 at 02:55 UTC: (a) MODIS visible image and (b) AMSR-E brightness temperature at 89.0 GHz with horizontal polarization. Blue line marks ascending CloudSat overpass path



Эволюция мезомасштабных циклонов 1 и 2 над Охотским морем, представленная последовательностью яркостных температур на частоте 36,5 ГГц с горизонтальной поляризацией, измеренных микроволновыми радиометрами **MTVZA-GYa** (a,c,e) и **AMSR-E** (b, d). 3 – новый мезоциклон, развивающийся в районе Северных Курильских островов.

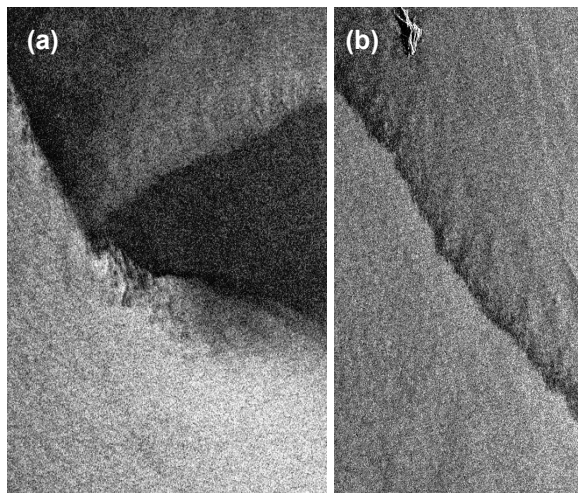


Вертикальное поперечное сечение измерений CloudSat для двух мезомасштабных циклонов, наблюдавшихся в Охотском море 16 февраля 2010 года в 02:55 UTC.

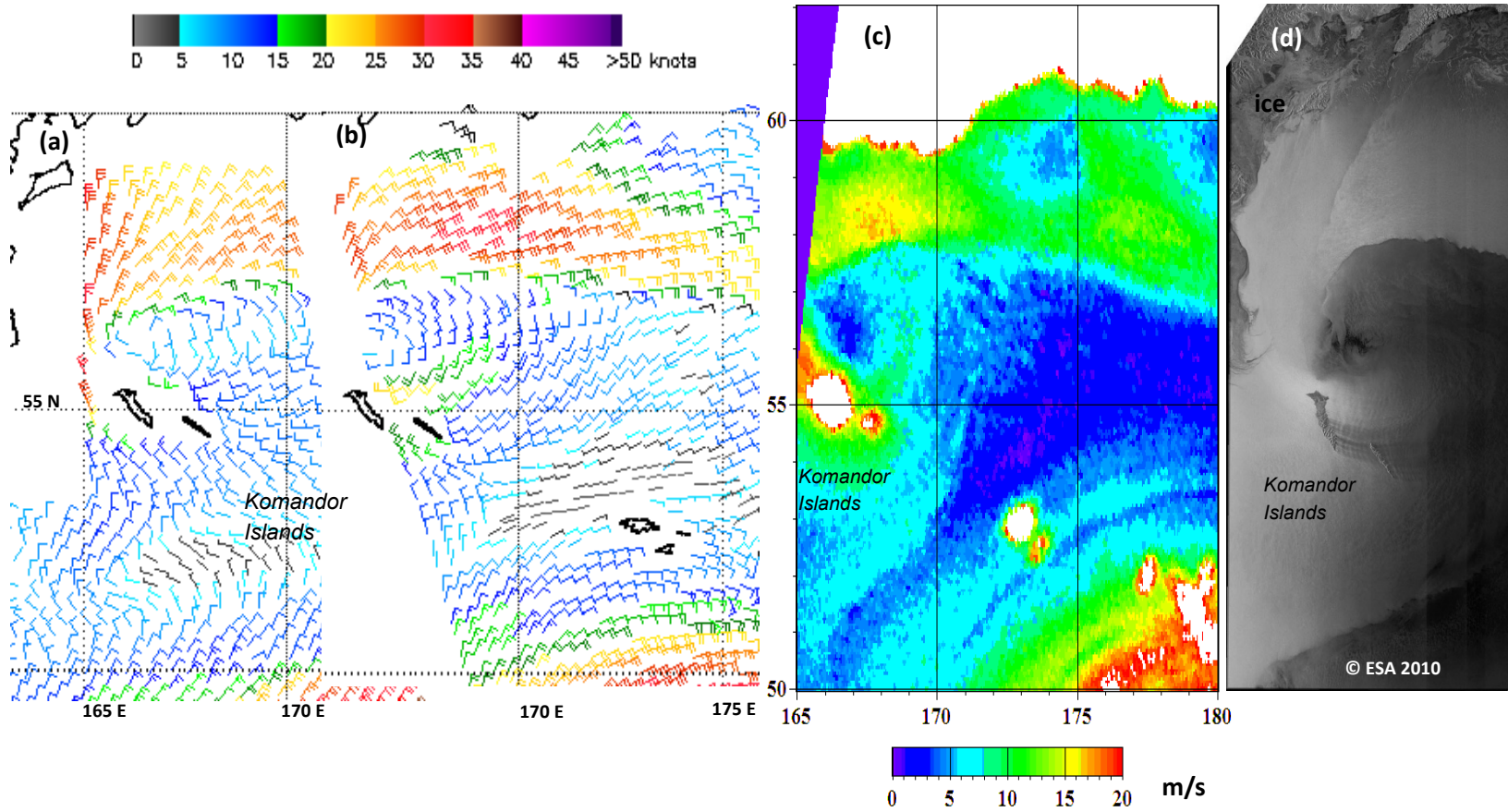


Мезоциклон над Японским морем вблизи юго-западного Сахалина 6 марта 2010 г.: (a) изображение **ASAR**, полученное со спутника **Envisat** в 00:50 UTC, (b) видимое изображение **MODIS**, полученное со спутника Terra в 00:55 UTC, и (c) поле ветра, полученное со спутника MetOp скаттерометром **ASCAT** в 01:13 UTC.

Пунктирные прямоугольники 1 и 2 отмечают местоположение двух фрагментов, показанных ниже. Красные пунктирные линии на рисунке (b) обозначают границы изображения **ASAR**.

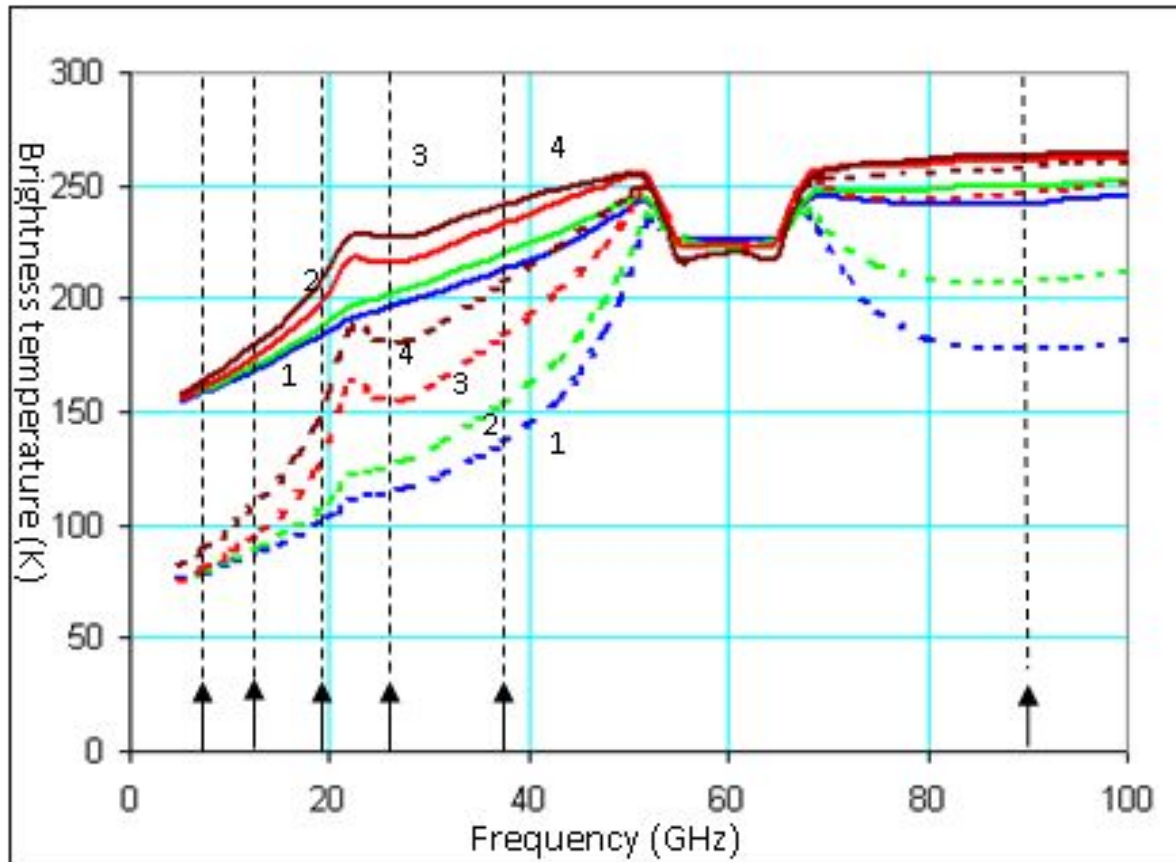


Увеличенные фрагменты изображения ASAR, отмеченные выше пунктирным прямоугольником, демонстрирующие тонкую структуру приземного ветра: (а) центральная часть мезомасштабного циклона и (б) конвергенция западного и восточного ветров вблизи фронтальной границы 2.



Изменчивость ветра в мезомасштабном циклоне в Беринговом море, по данным различных спутниковых сенсоров 7 апреля 2010 г. с 06:02 UTC до 14:35 UTC.

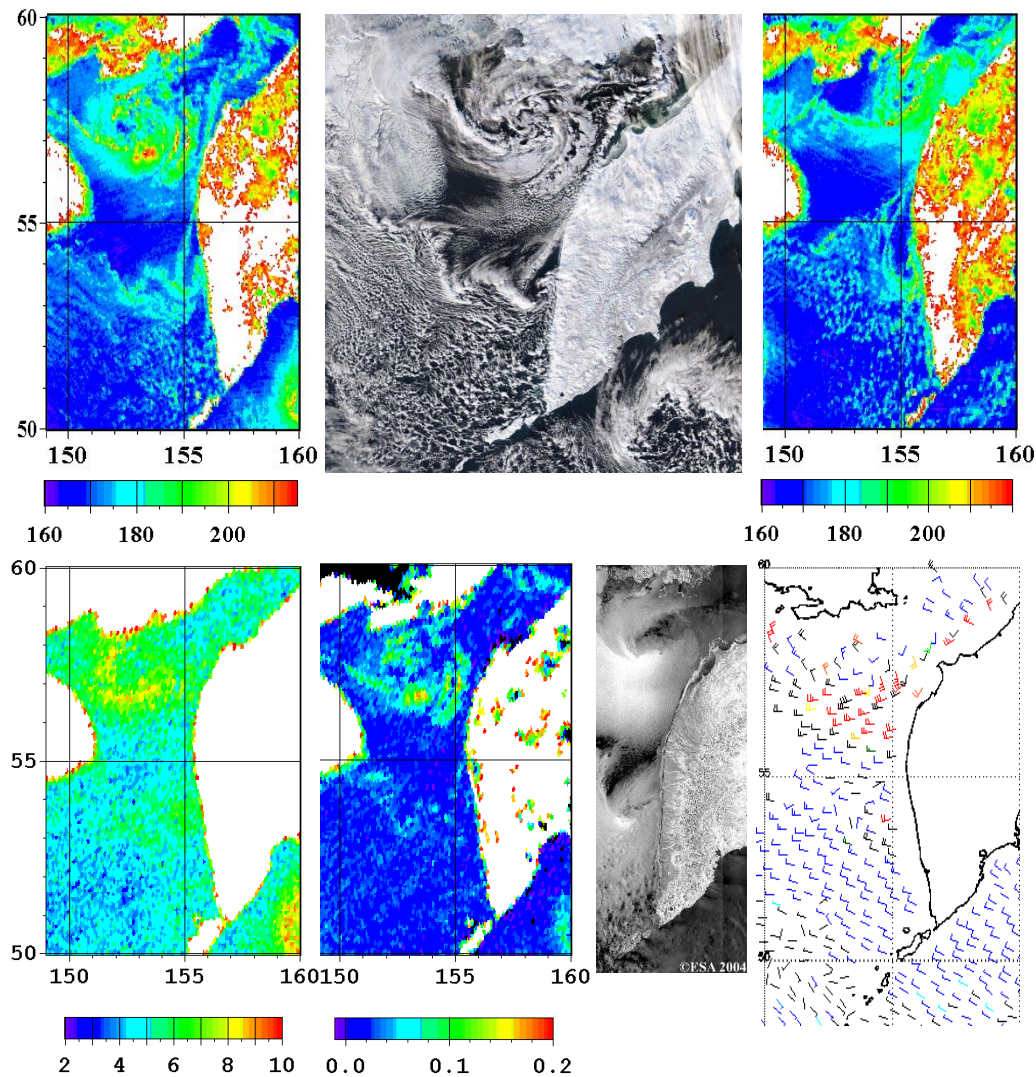
L.M. Mitnik Mesoscale atmospheric cyclones in the Okhotsk and Bering Seas: Results of satellite multisensor study



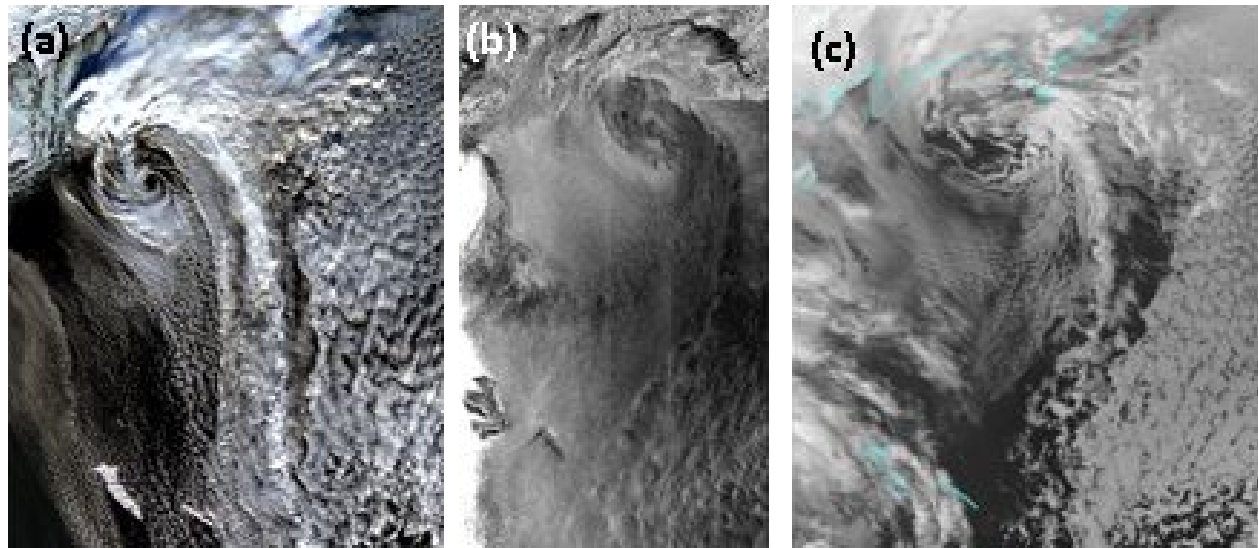
Spectra of the brightness temperature of the atmosphere-ocean system with vertical (solid lines) and horizontal (dotted lines) polarization computed for cloudless atmosphere (1) and three cloudy atmospheres (2-4) with various values of total water vapor content V and total cloud liquid water content Q . Dark arrows mark **AMSR-E** frequencies.

1 – $V = 2.8 \text{ kg/m}^2$, $Q = 0 \text{ kg/m}^2$; 2 – $V = 3.6 \text{ kg/m}^2$, $Q = 0.14 \text{ kg/m}^2$;

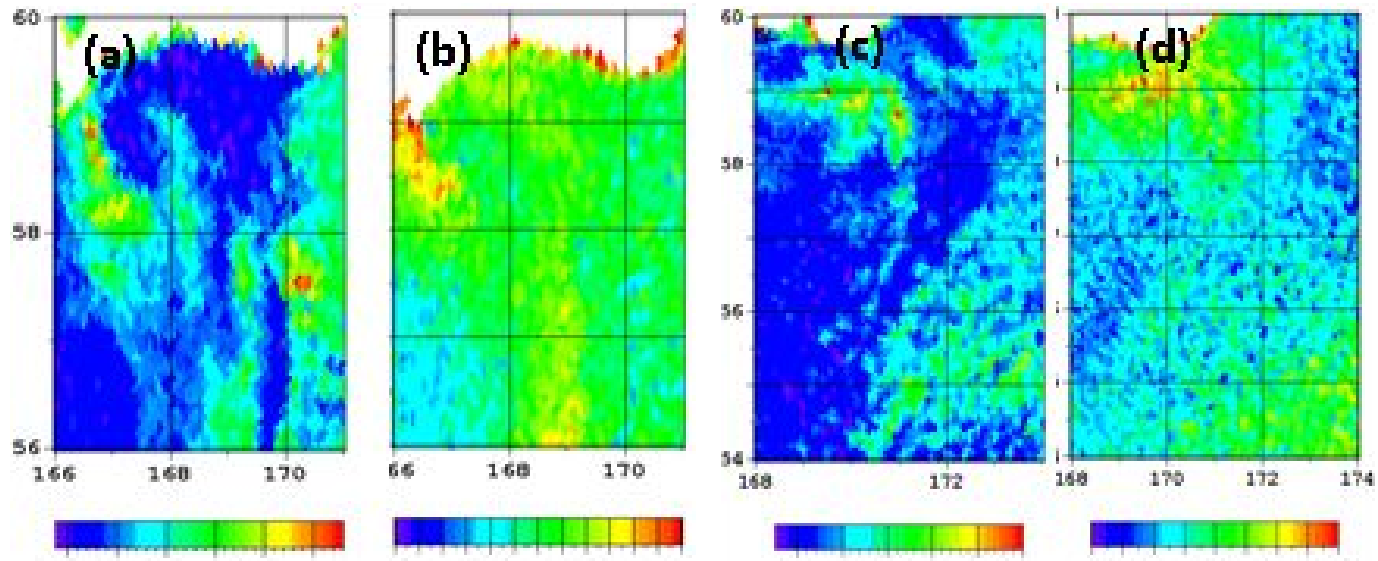
3 – $V = 13.8 \text{ kg/m}^2$, $Q = 0.26 \text{ kg/m}^2$; 4 – $V = 19.3 \text{ kg/m}^2$, $Q = 0.56 \text{ kg/m}^2$



Mesoscale cyclones over the Okhotsk Sea to the west of Kamchatka on 3 January 2004: (a) and (c) 89-GHz, H-polarization Aqua AMSR-E brightness temperature (Kelvin degrees) at 02:25 (a) and at 16:15 UTC (c); (b) Aqua MODIS visible image at 02:25 UTC, (d) total atmospheric water vapor content (in kg/m^2) and (e) total cloud liquid water content (in kg/m^2) retrieved from 23.8- and 36.5-GHz, V-polarization brightness temperatures at 02:25 UTC, (f) Envisat ASAR image at 11:13 UTC and (g) QuikSCAT-derived wind field at 08:37 UTC



Mesoscale cyclone over the southwestern Bering Sea on 15 January 2005: (a) and (c) **Aqua MODIS** images: (a) visible image at 00:55 UTC and (c) infrared image at 14:25 UTC; (b) **Envisat ASAR** image at 10:21 UTC.



Fields of total cloud liquid water content (in kg/m^2) (a) and (c) and total atmospheric water vapor content (in kg/m^2) (b) and (d) derived from **Aqua AMSR-E** measurements taken on 15 January 2005 at 00:55 UTC (a) and (b) and at 14:55 UTC (c) and (d).

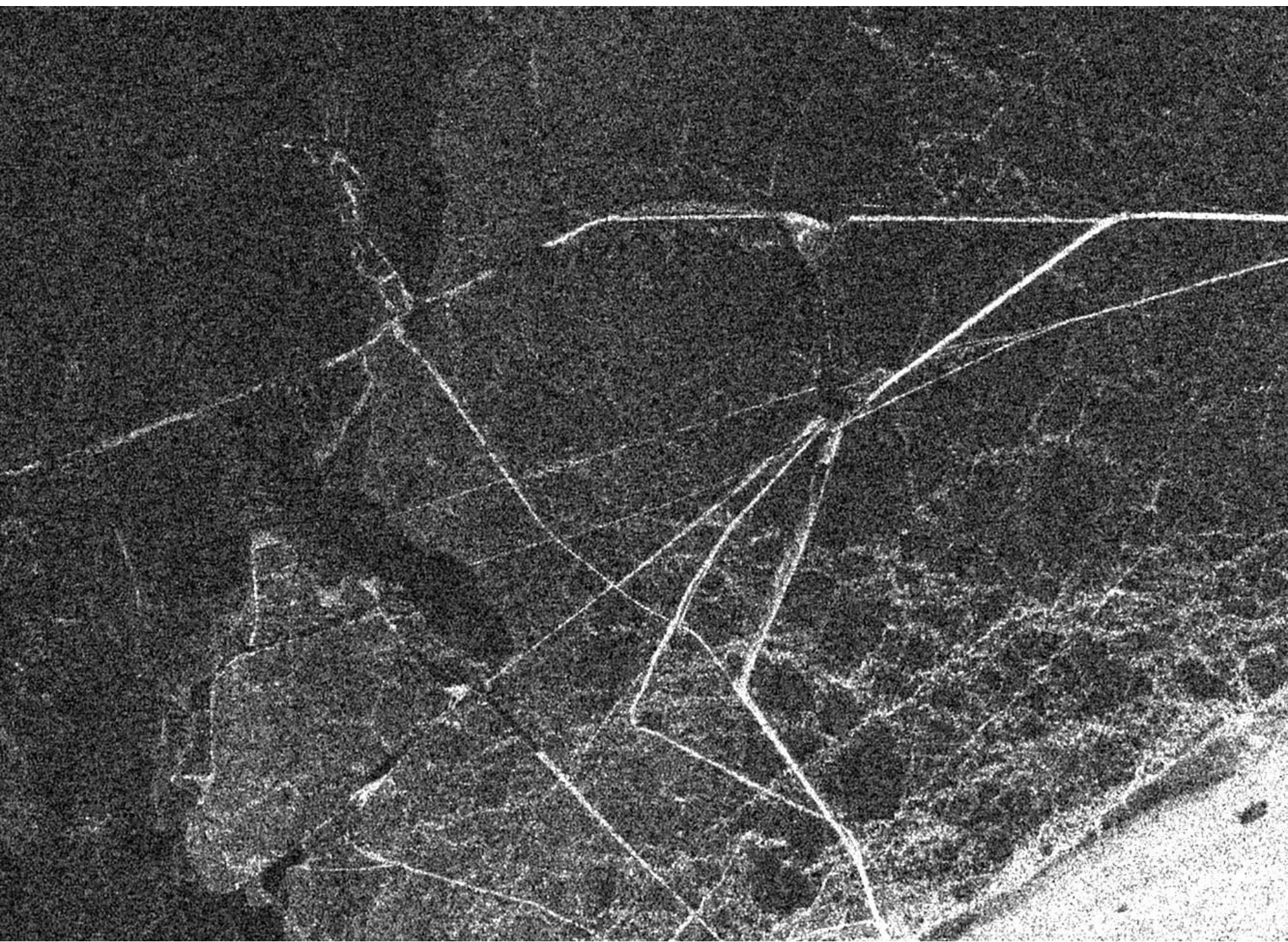
Выводы

Микроволновые радиометрические и радиолокационные измерения из космоса дают богатый материал о геофизических полях в полярных регионах Земли. Новые приборы углубляют анализ явлений и процессов в атмосфере и на поверхности, улучшают временное разрешение, что может быть использовано в научных исследованиях и в оперативной работе.

Комплексный анализ спутниковых данных в различных диапазонах длин волн, контактных измерений и результатов моделирования отражает современную тенденцию изучения явлений и процессов в различных сферах.

Амурский залив. Подспутниковый эксперимент. Сотрудники
лаборатории раздвигают ледяные поля перед зондированием
PALSAR





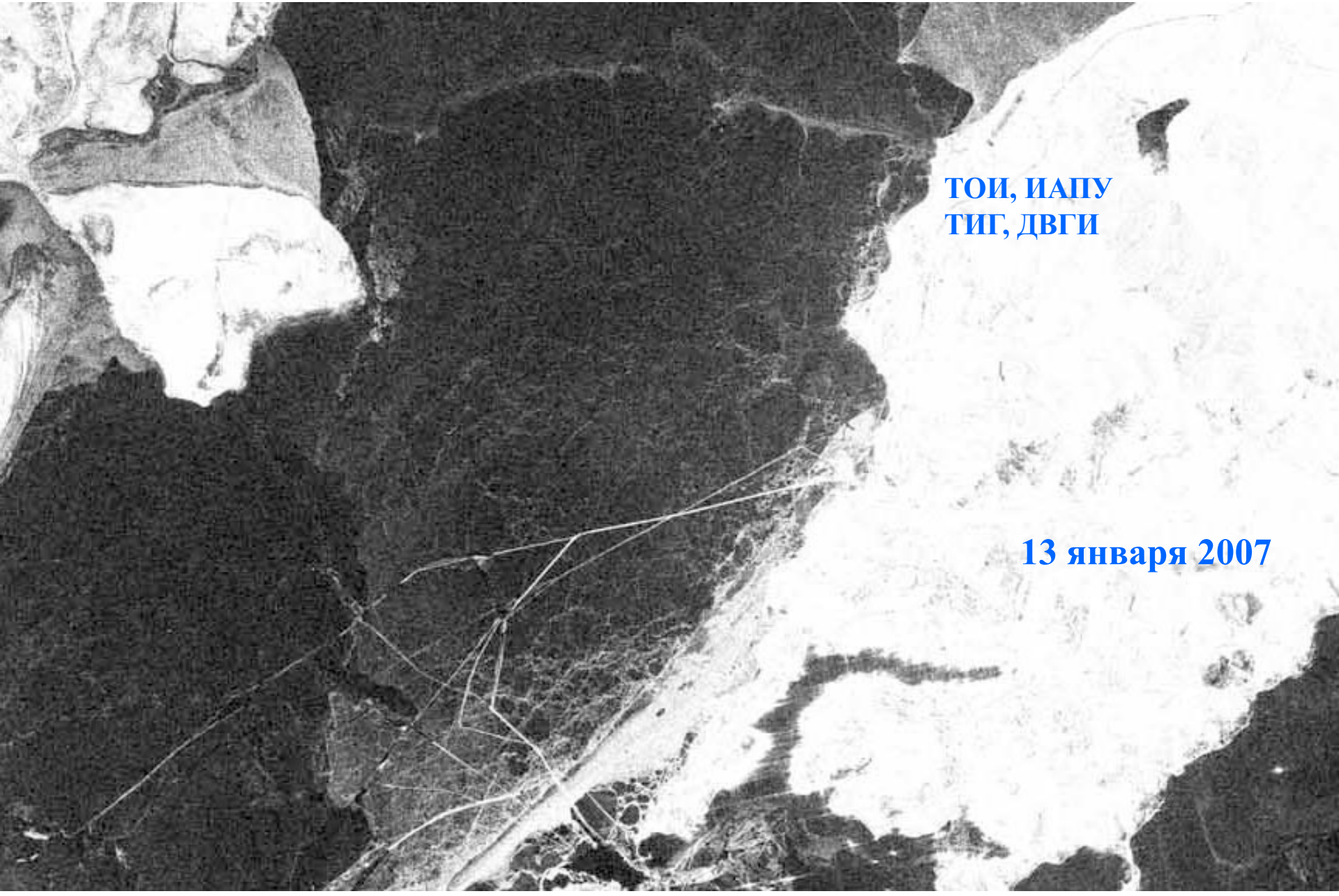
Вид на институты ДВО РАН и рыбаков



**Усилия вознаграждены.Трещина во льду создана.
На горизонте о. Скребцова**



ALOS PALSAR. Лед в Амурском заливе



ТОИ, ИАПУ
ТИГ, ДВГИ

13 января 2007

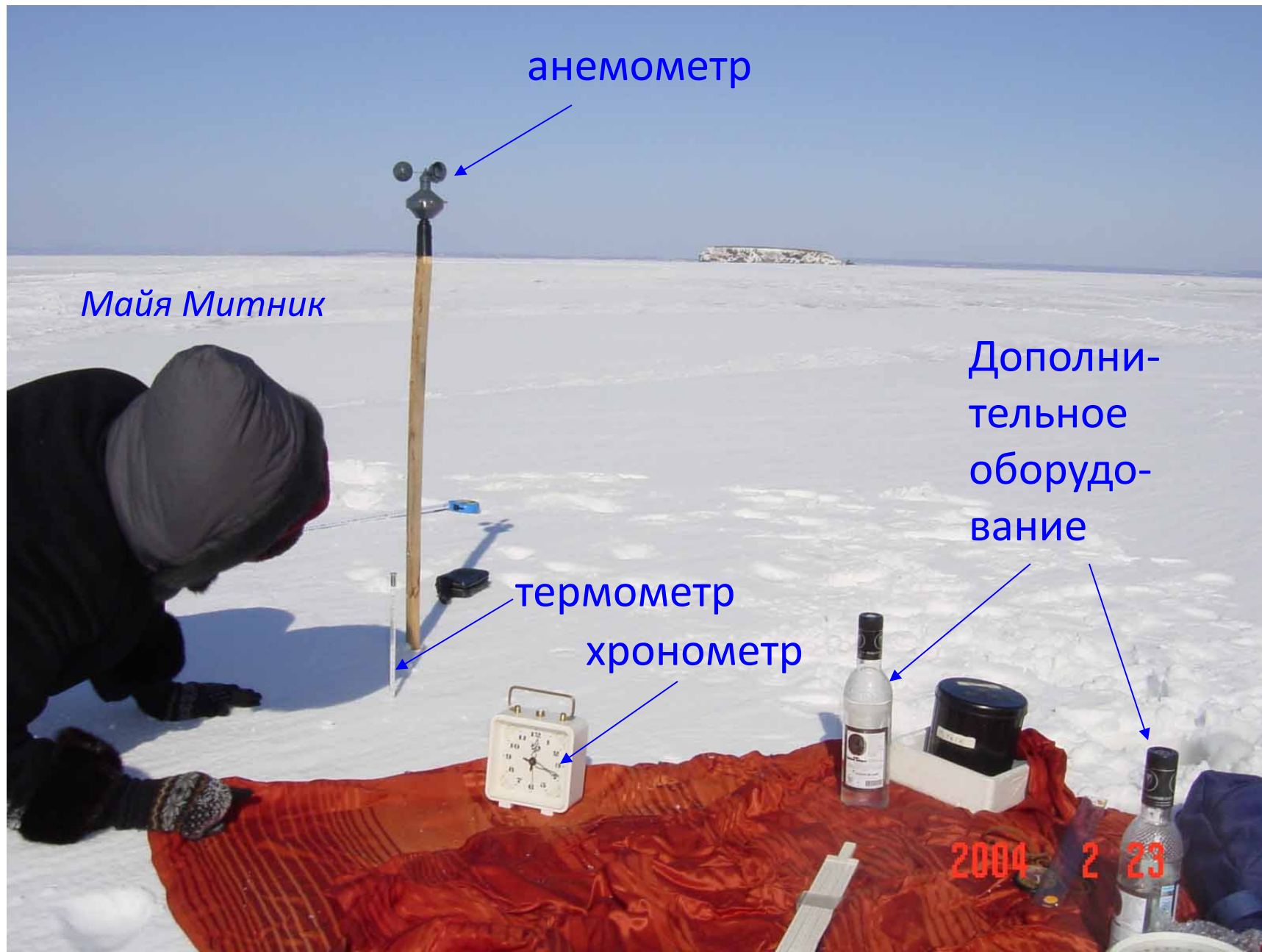
Для определения времени зондирования **ALOS PALSAR** используется прецизионная аппаратура



Определяется точная ориентация на север



Температура поверхности льда



Направление ветра

Флюгер



Майя Митник

2004 2 23

Температура воздуха



Скорость ветра

анемомометр

Портативный компьютер
(логарифмическая линейка).

При вычислениях используется
мышечная сила оператора

барометр



Цветы

доброжелательным и внимательным исследователям



Залив Петра Великого