

# Моделирование микроволновых характеристик системы атмосфера-океан при организованной мезомасштабной конвекции

Митник Майя Львовна

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

**690041 Владивосток, ул. Балтийская 43**

**E-mail: [maia@poi.dvo.ru](mailto:maia@poi.dvo.ru)**



# Содержание

- **Введение**
- **Мезомасштабная грядовая и ячейковая конвекция в пограничном слое атмосферы над океаном.**
- **Трехкомпонентная модель приводного ветра, паросодержания атмосферы и водозапаса облаков.**
- **Расчетные поля яркостных температур**
- **Моделирование радиолокационных отпечатков гряд и ячеек**
- **Заключение**

# Введение

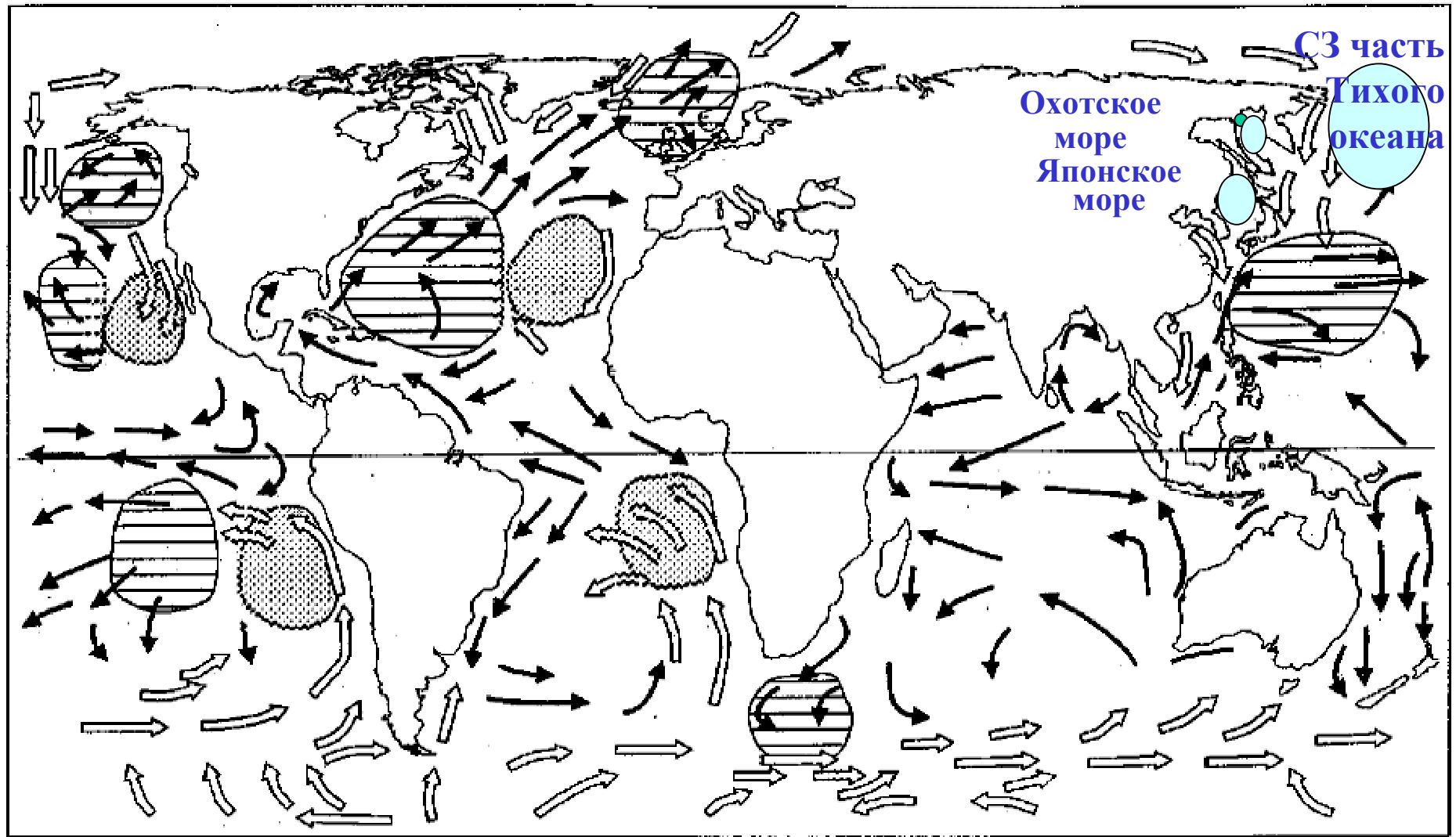
Над обширными пространствами океана в средних и высоких широтах регулярно наблюдается конвективная облачность, образующая, в основном, открытые и закрытые ячейки и гряды.

*Открытые ячейки* представляют собой кольцо кучевых облаков вокруг безоблачного центра, а *закрытые* - безоблачное кольцо вокруг закрытого облаками центра.

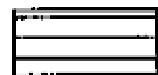
*Гряды* – это полосы кучевых облаков, разделенные безоблачным пространством. Гряды облаков являются индикаторами *горизонтальных вихрей*, сформировавшихся в пограничном слое атмосферы над океаном.

Ячейки и гряды легко распознаются на спутниковых видимых и инфракрасных изображениях.

# Глобальное распределение мезомасштабной ячейковой конвекции



Cell locations  
Ocean currents



Open



Warm



Closed

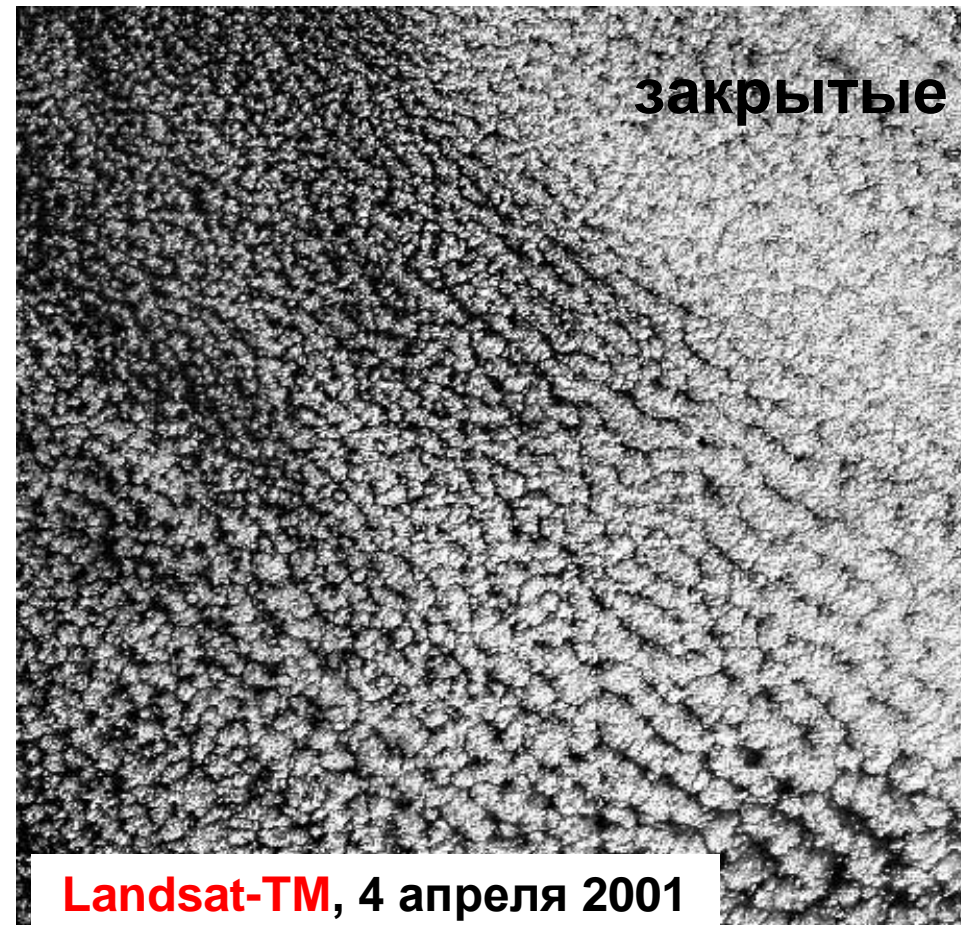


Cool

*Agee, 1987*

# Мезомасштабные конвективные ячейки

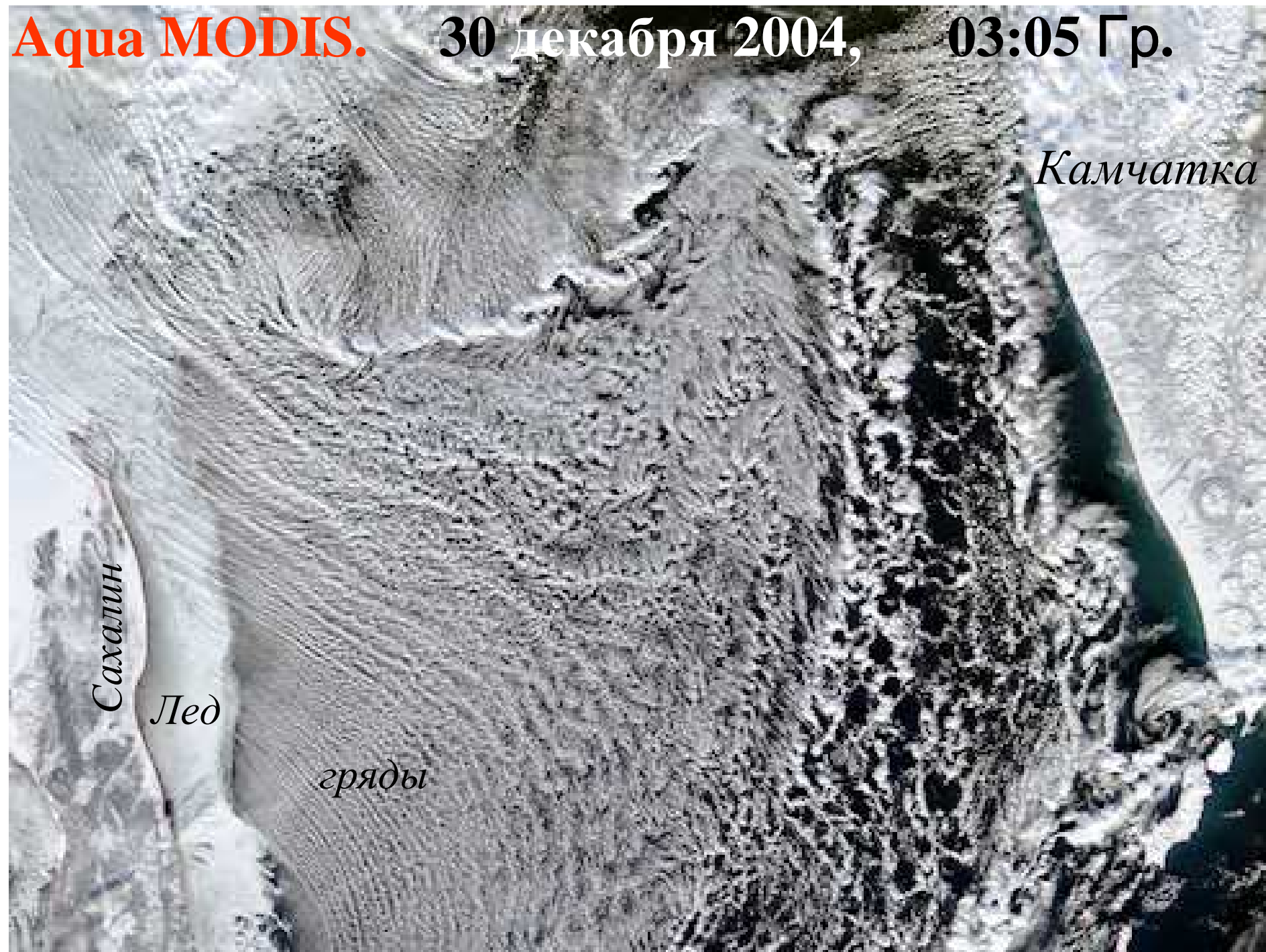
**Открытые ячейки** характеризуются облачностью вдоль краёв ячеек, и напоминают пчелиные соты. В центрах ячеек облачности почти нет. В **закрытых ячейках** центры закрыты облачностью, которая окружена безоблачными полосами.



**Aqua MODIS.**

**30 декабря 2004,**

**03:05 Гр.**

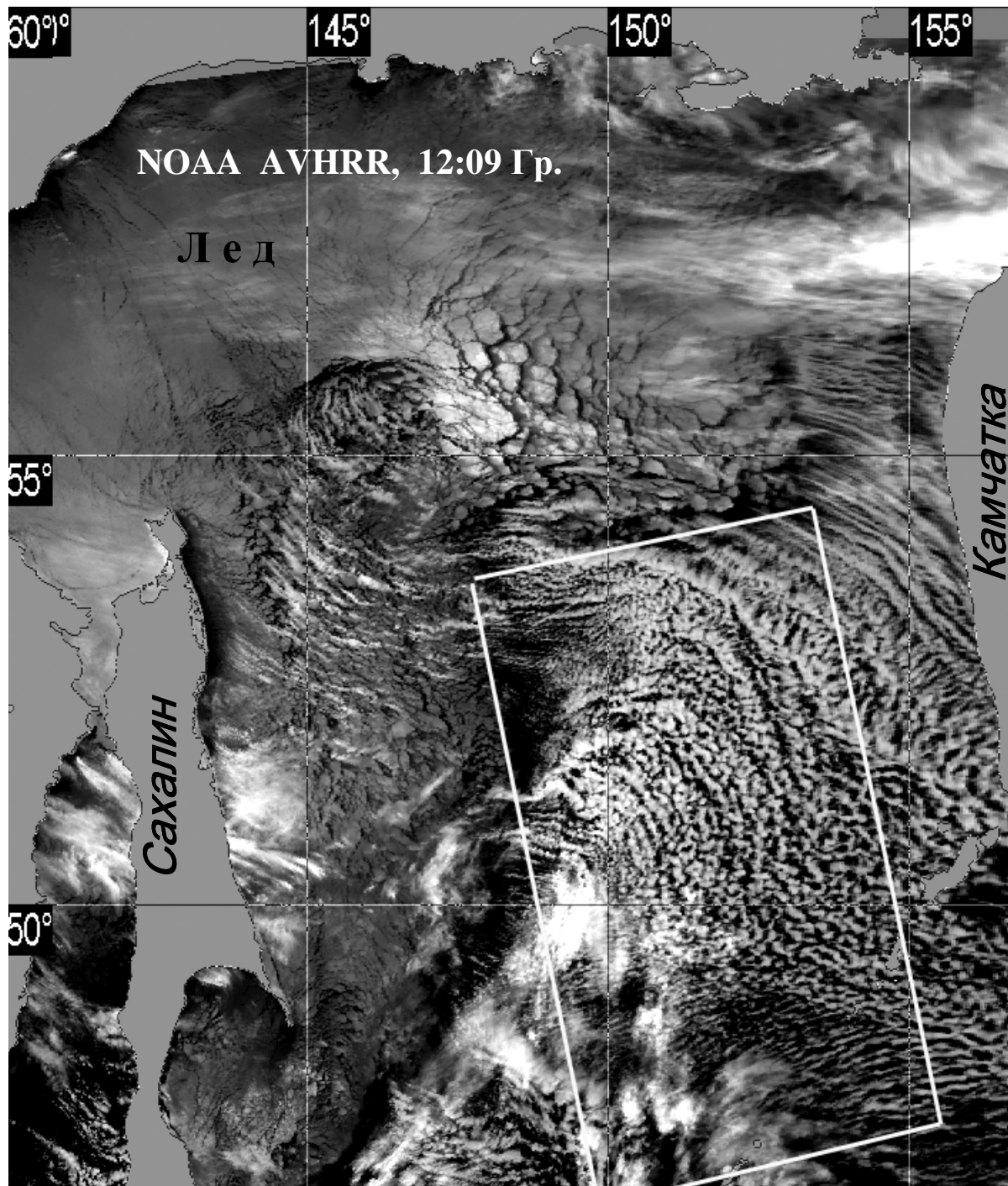


*Сахалин*

*Лед*

*гряды*

*Камчатка*

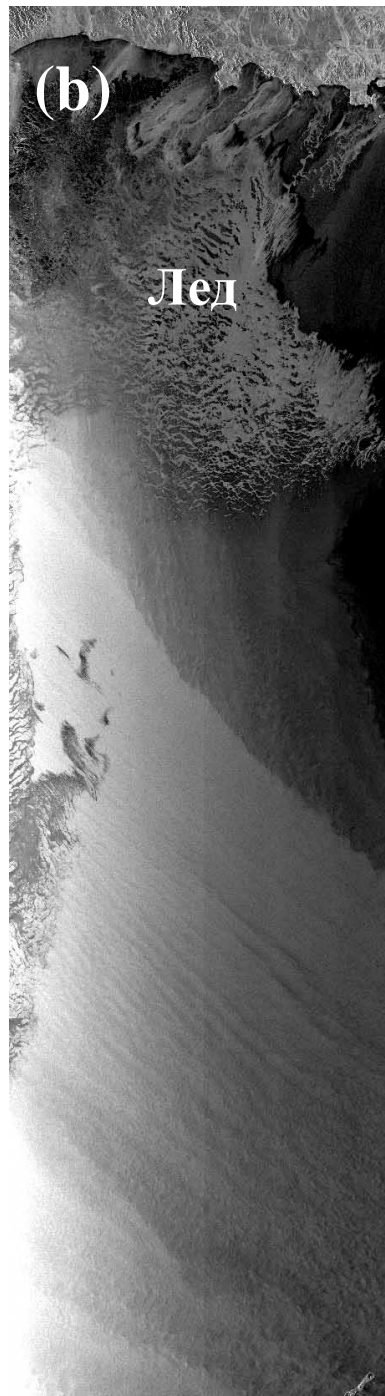
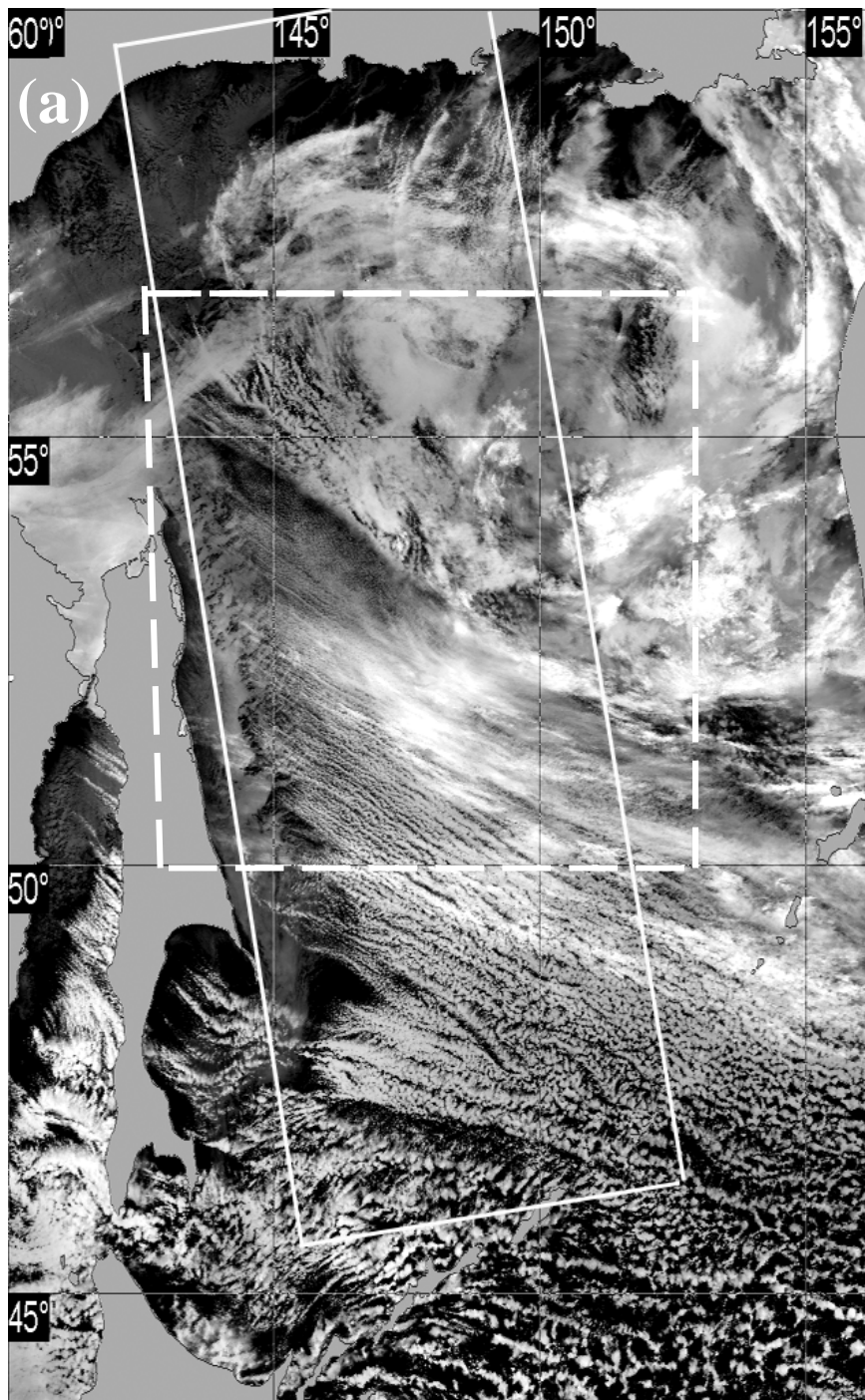


**Открытые ячейки.**

**8 февраля 2007 г.**

**Envisat ASAR, 11:35 Гр.**

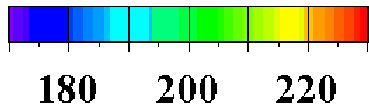
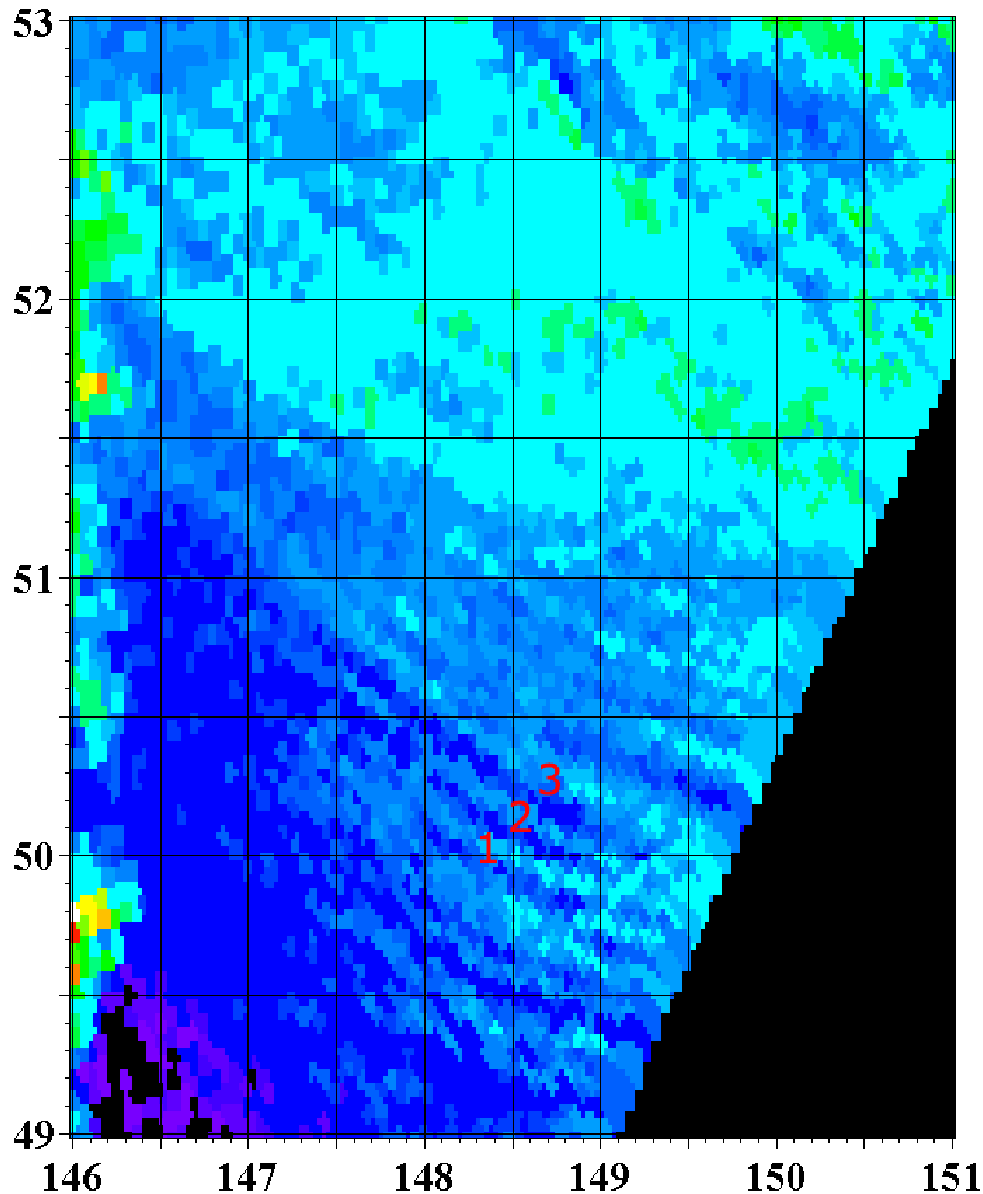




# Охотское море 10 января 2007

Мезомасштабные  
конвективные  
гряды и ячейки  
на изображениях  
(a) NOAA-17  
AVHRR в 11:39  
Гр и (b) Envisat  
ASAR в 11:46 Гр.





ТВ(89H)(K) 10 Jan 2007 111D

## Охотское море

Скорость ветра по данным **QuikSCAT** - 15-17 м/с.

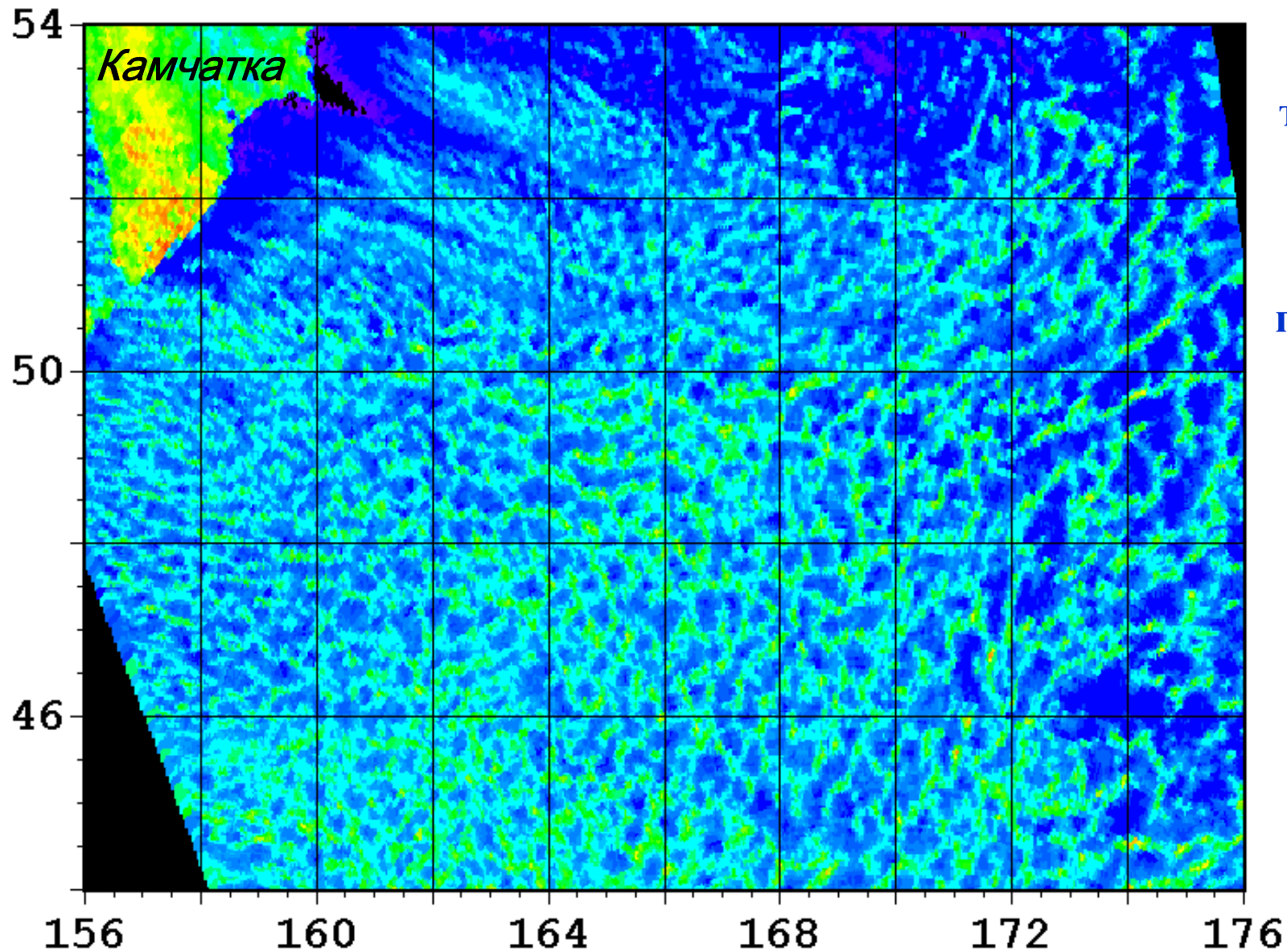
Параметры **конвективных** **гряд** в области 50.0-50.4°с.ш., 148.3-148.8°в.д. Найдены по яркостным температурам на частоте 89.0 ГГц на Г-поляризации, измеренным **AMSR-E** со спутника **Aqua** в 16:35 Гр.

Длина волны 20 км.

Яркостная температура (К)

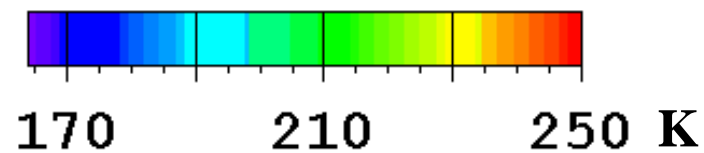
полоса между полосами

1	186.3	177.9
2	185.4	180.0
3	185.8	180.3

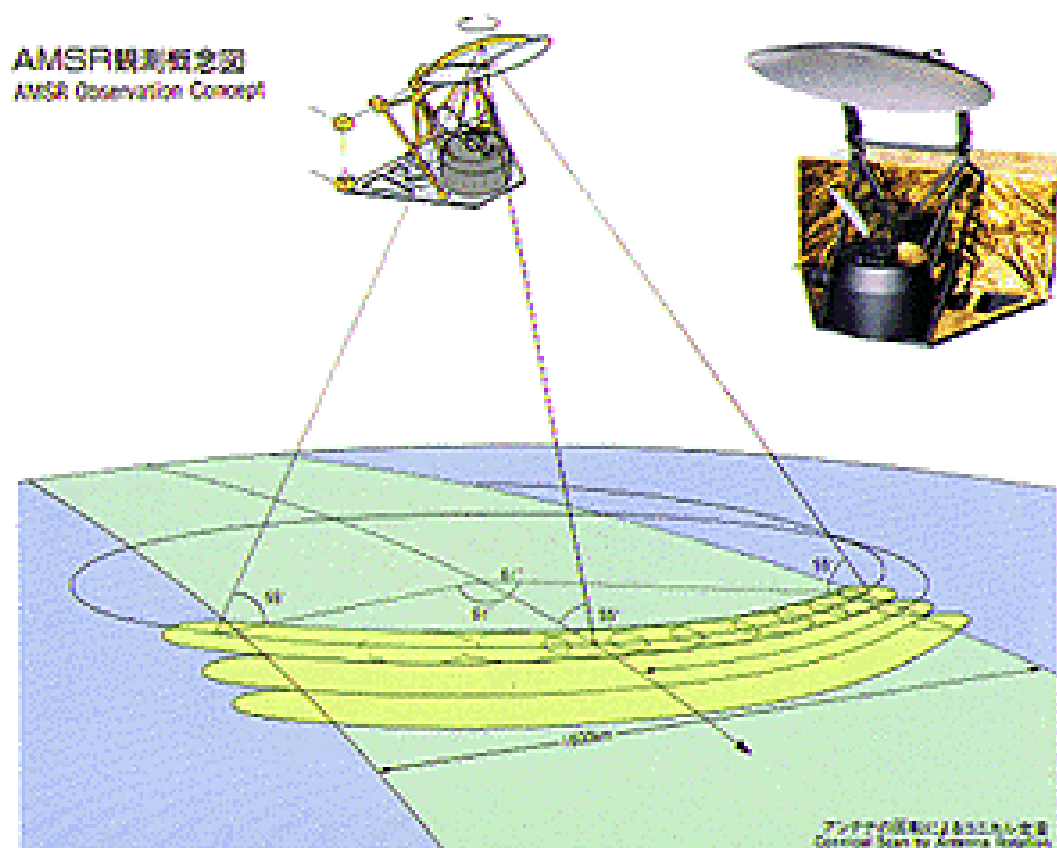


Яркостная  
температура  
на частоте  
89 ГГц на  
горизонт.  
поляризации  
21 декабря  
2002 г.  
01:30 Гр.

Радиометр  
**AMSR-E**,  
спутник  
**Aqua**



# Микроволновый радиометр **AMSR**



Спутник NASA **Aqua** с усовершенствованным микроволновым сканирующим радиометром **AMSR-E** на борту 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, сплошность ледяного покрова, влажность почвы, и другие параметры.*

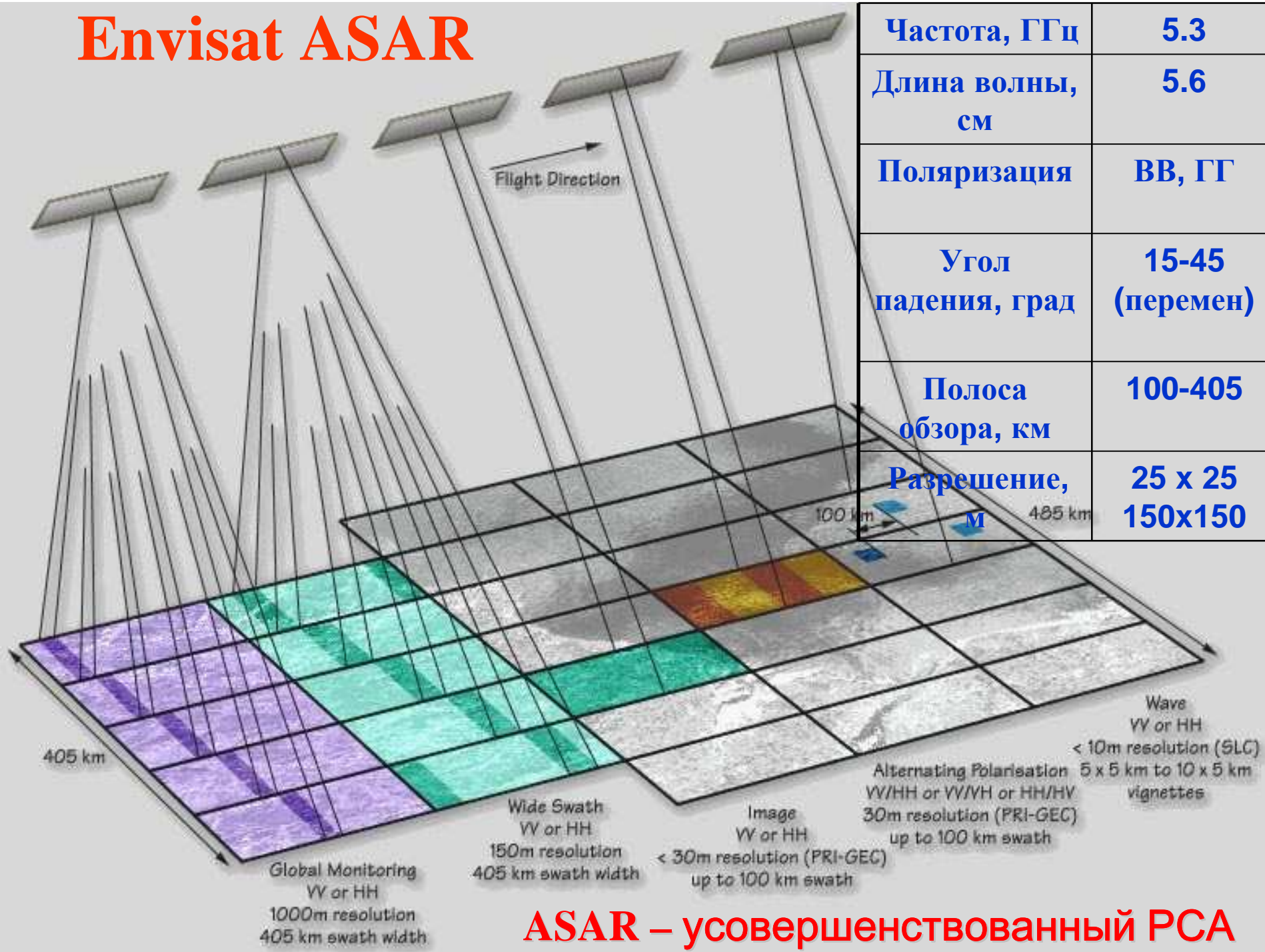
## Основные характеристики радиометров **AMSR** и **AMSR-E**

**AMSR** - 8-частотный радиометр полной мощности с двумя поляризационными каналами (кроме каналов в полосе 50 ГГц). Сканирование – коническое. Калибровка на каждом скане по горячей нагрузке ( $\approx 300$  К) и космическому реликтовому излучению ( $\approx 3$  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								
Цикл сканиров., сек	1.5								

# Envisat ASAR

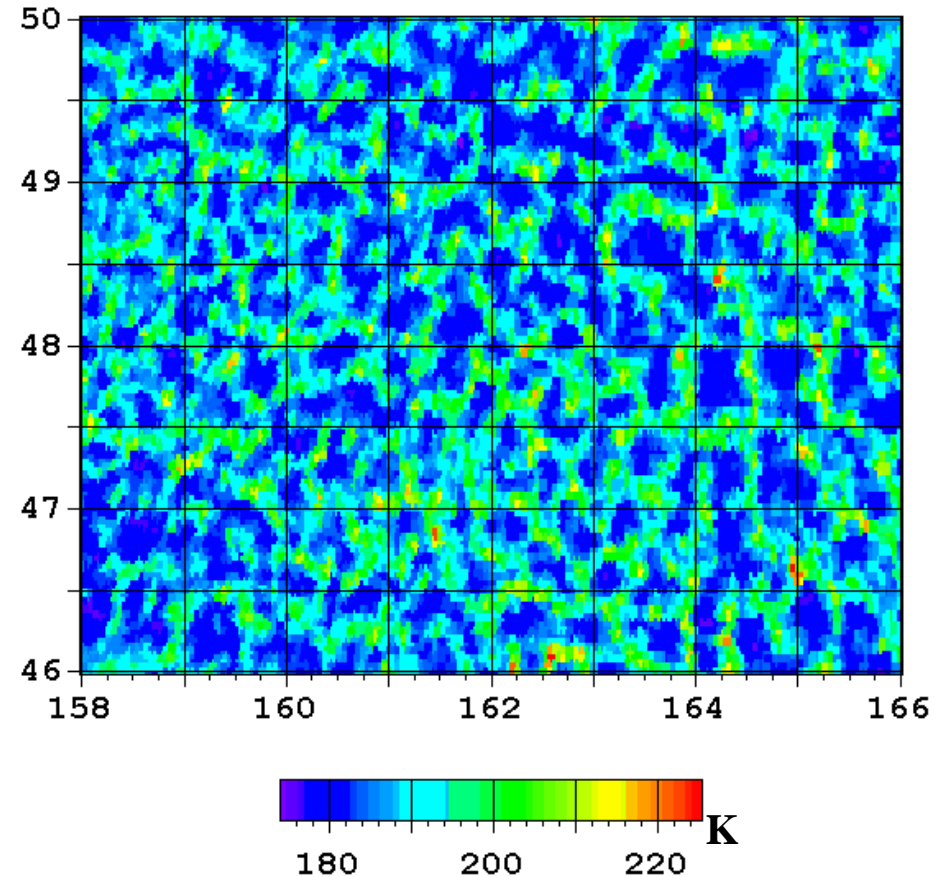
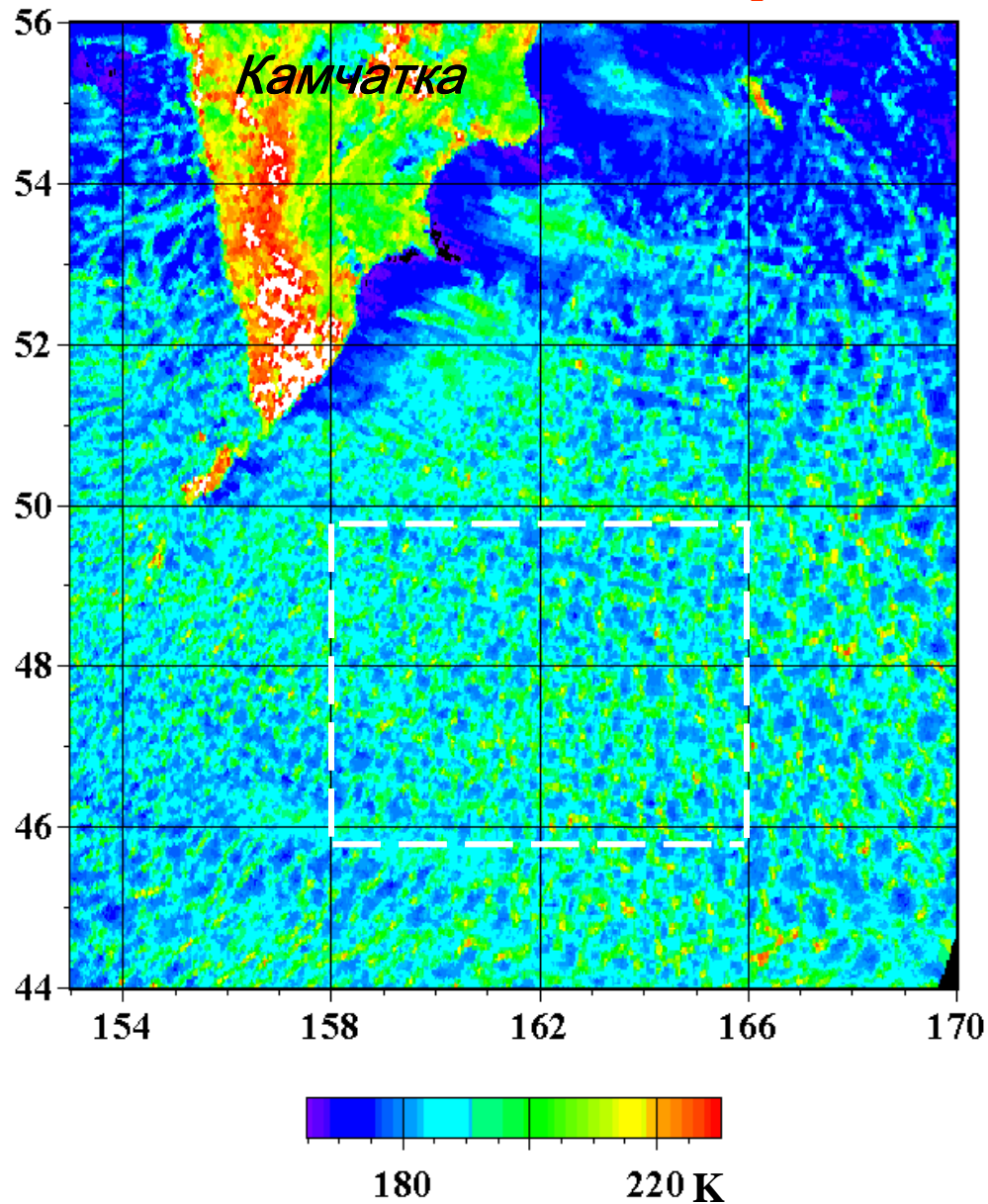


**ASAR – усовершенствованный РСА**

# Цели

- 1) Интерпретация вариаций *яркостных температур*  $Tя$ , измеренных микроволновыми радиометрами AMSR-E и AMSR со спутников Aqua и ADEOS-II над районами организованной мезомасштабной конвекции, и *вариаций удельной эффективной площади рассеяния – УЭПР* (яркости) на изображениях океана этих районов, полученных РСА со спутников ERS-1/2 и Envisat.
- 2) Разработатка геофизических моделей распределения метеорологических полей в открытых и закрытых ячейках и построение на основе моделей их микроволновых образов.
- 3) Сравнение измеренных и расчетных полей  $Tя$  и УЭПР организованной мезомасштабной конвекции над океаном.
- 4) Разработка алгоритмов восстановления интегральных атмосферных параметров в отдельных грядах и ячейках.

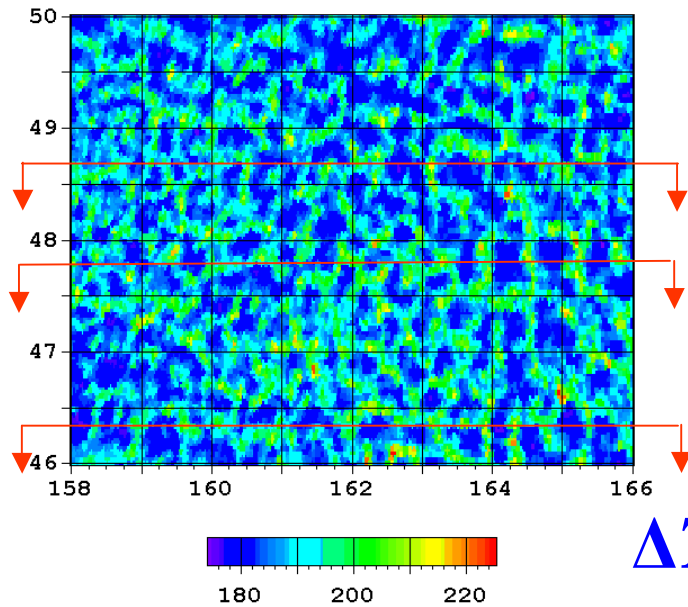
# Мезомасштабные конвективные открытые ячейки



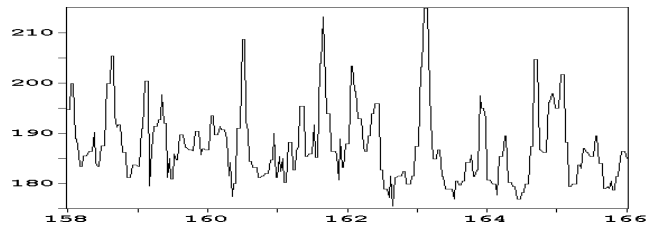
21 декабря 2002, 15:30 Гр.  
89 ГГц, Г-поляризация

# Открытые ячейки.

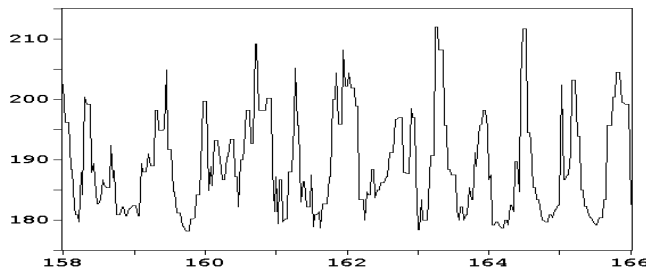
21 декабря 2002, 15:30 Гр.  
89 ГГц, Г- поляризация



$$\Delta T_{\text{я}} = T_{\text{яобл}} - T_{\text{яо}} = a_0 Q + a_1 \Delta V + a_2 \Delta W$$



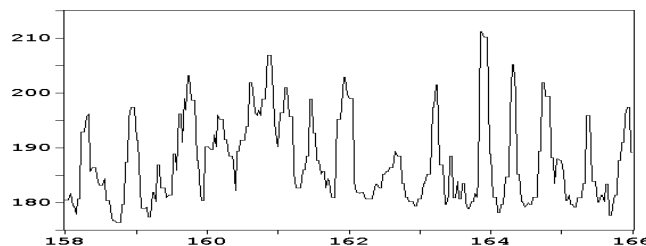
48.7 с.ш.



47.8 с.ш.

$$T_{\text{ямин}} = 180 \text{ К}$$

$$T_{\text{ямакс}} = 210 \text{ К}$$



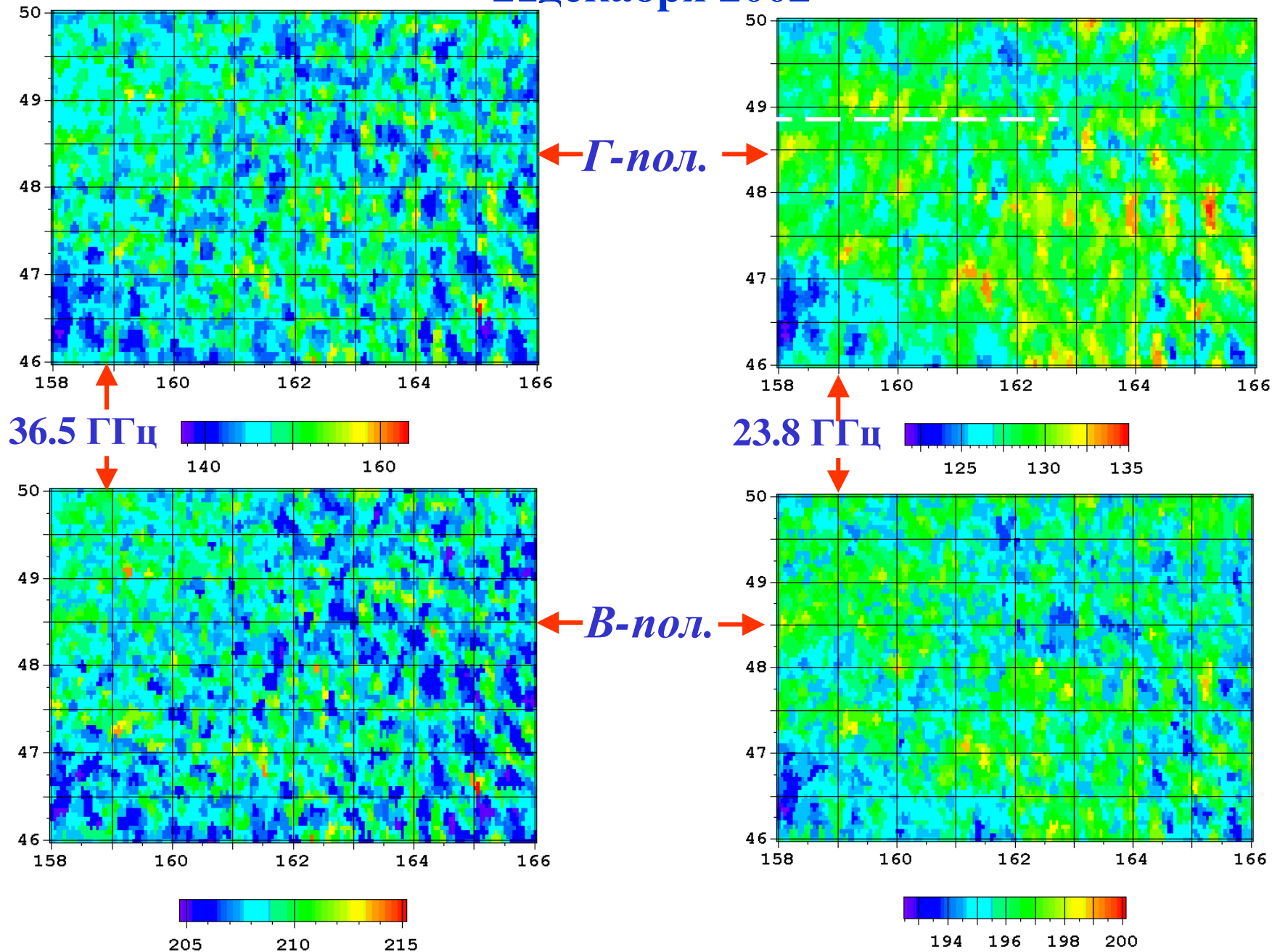
46.3 с.ш.

$$\Delta T_{\text{я}} = 30 \text{ К}$$



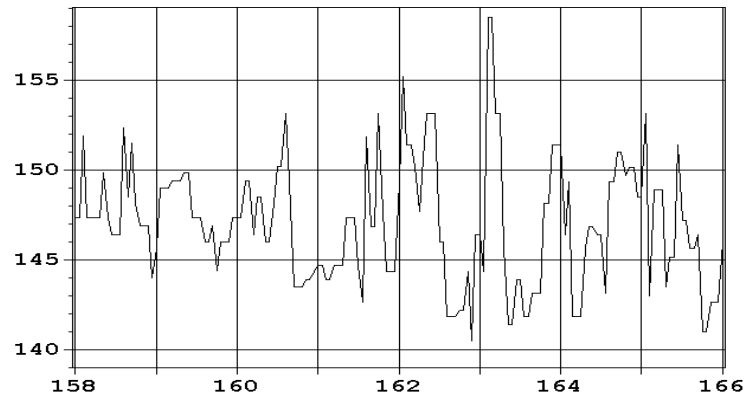
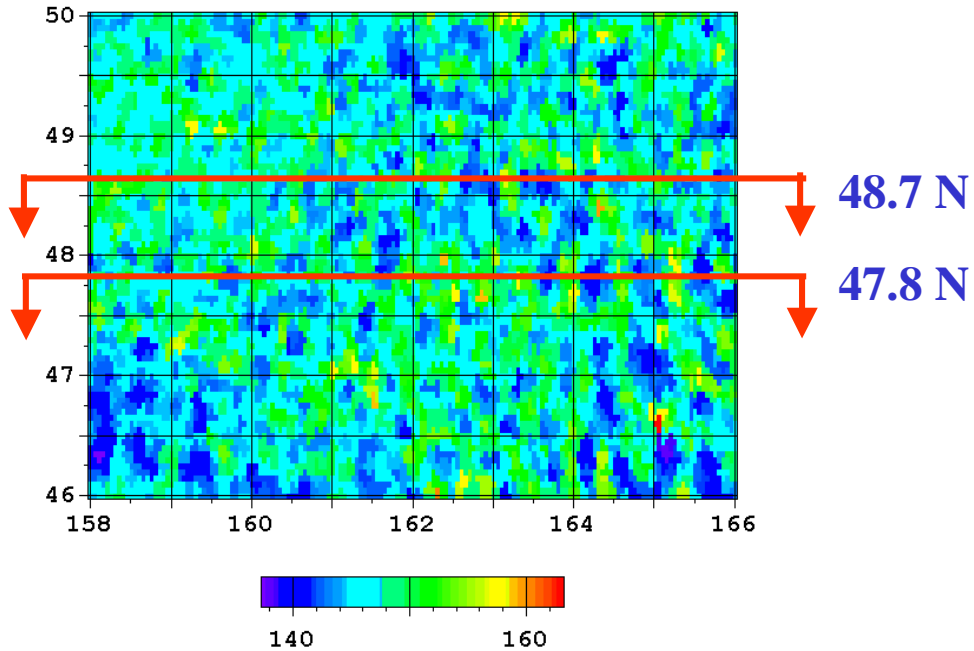
# Мезомасштабные конвективные открытые ячейки.

21 декабря 2002



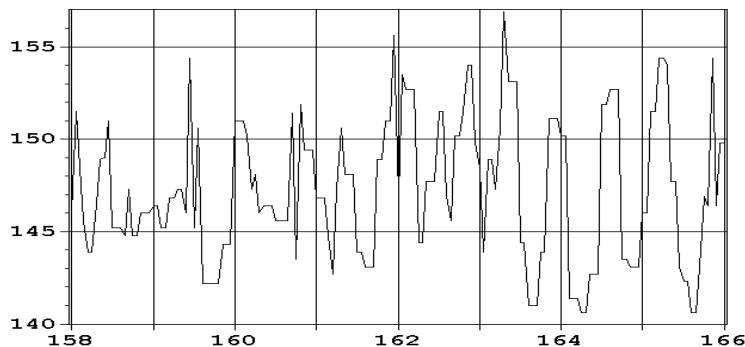
# Мезомасштабные конвективные открытые ячейки

21 декабря 2002,  
15:30 Гр.  
36.5 ГГц, Г-пол.



48.7 N

$$T_{\text{ямин}} = 140 \text{ K}$$

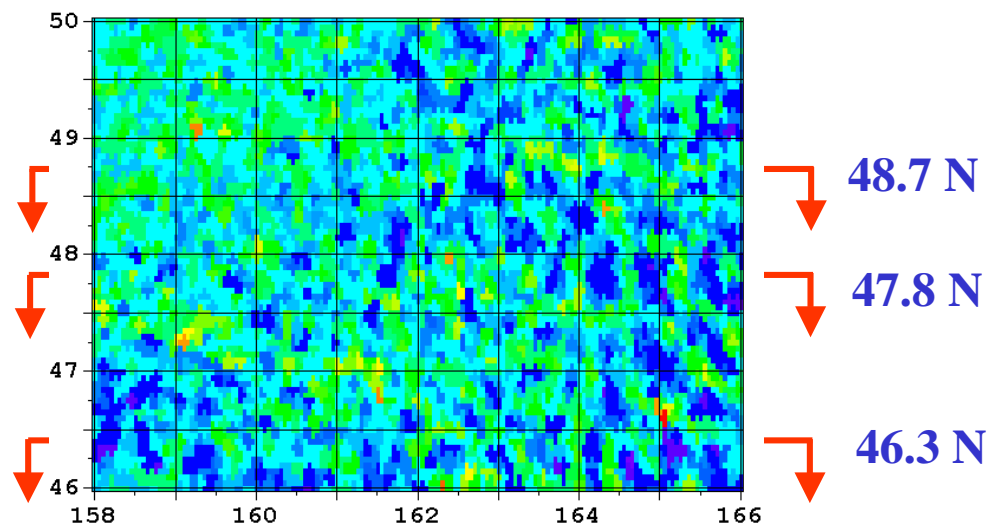


47.8 N

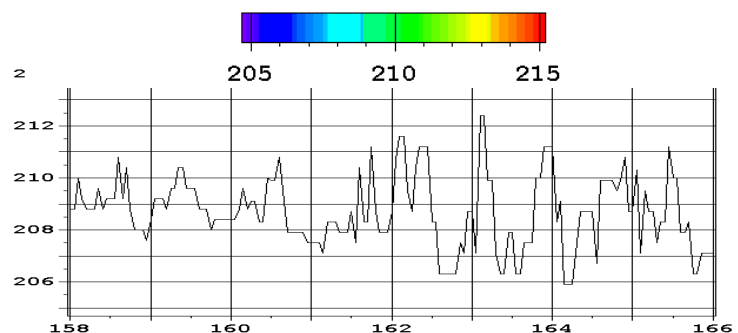
$$T_{\text{ямакс}} = 155 \text{ K}$$

$$\Delta T_{\text{я}} = 15 \text{ K}$$

# Мезомасштабные конвективные открытые ячейки

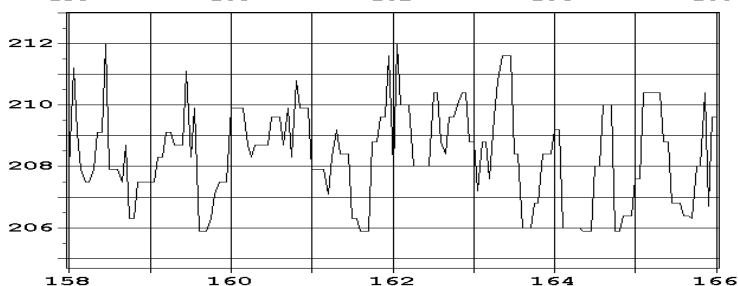


21 декабря 2002,  
15:30 Гр.  
23.8 ГГц, В-поляриз.



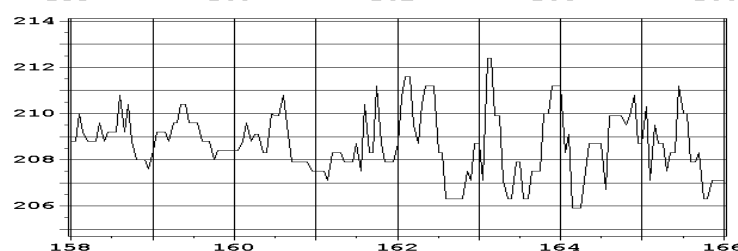
$$T_{\text{ямин}} = 206 \text{ K}$$

$$T_{\text{ямакс}} = 212 \text{ K}$$



46.3 N

$$\Delta T_{\text{я}} = 6 \text{ K}$$



# Моделирование яркостных температур **AMSR**

Моделирование измерений над океаном было выполнено с использованием программы переноса микроволнового излучения, позволяющей рассчитать яркостные температуры  $T_{я}^{В,Г}(\nu)$  системы подстилающая поверхность-атмосфера на частотах  $\nu$  на вертикальной (В) и горизонтальной (Г) поляризациях.

# Расчет яркостных температур

## *Уравнение переноса излучения*

$$T_{\text{я}}^{\text{В.Г}}(\nu, \theta, t_o, W) = \kappa^{\text{В.Г}}(\nu, \theta, t_o, W) T_o e^{-\tau(\nu) \sec \theta} + T_{\text{Яатм}}^{\uparrow}(\nu, \theta) + T_{\text{Яатм}}^{\downarrow}(\nu, \theta) \\ \times [1 - \kappa^{\text{В.Г}}(\nu, \theta, t_o, W)] e^{-\tau(\nu) \sec \theta} + T_{\text{к}} [1 - \kappa^{\text{В.Г}}(\nu, \theta, t_o, W)] e^{-2\tau(\nu) \sec \theta}$$

$T_{\text{Яатм}}^{\uparrow}$  и  $T_{\text{Яатм}}^{\downarrow}$  – восходящая и нисходящая составляющие яркостной температуры атмосферы

$T_o = t_o + 273.16$  – температура поверхности океана;  $T_{\text{к}} = 2.7 \text{ К}$

$T_{\text{я}}$  - яркостная температура на частоте  $\nu$ ,

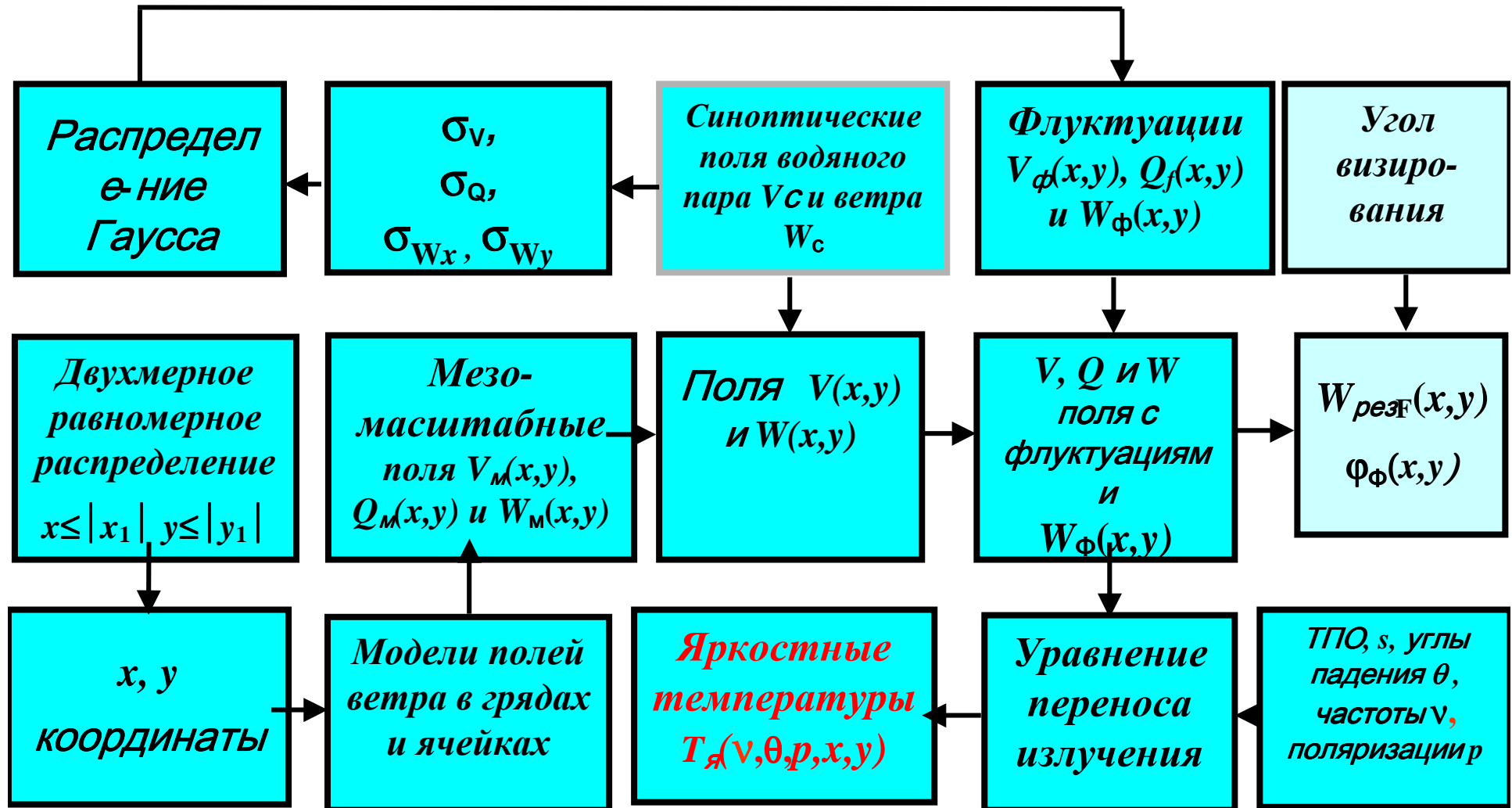
$\theta$  - угол падения,

$T_o$  – термодинамическая температура поверхности,

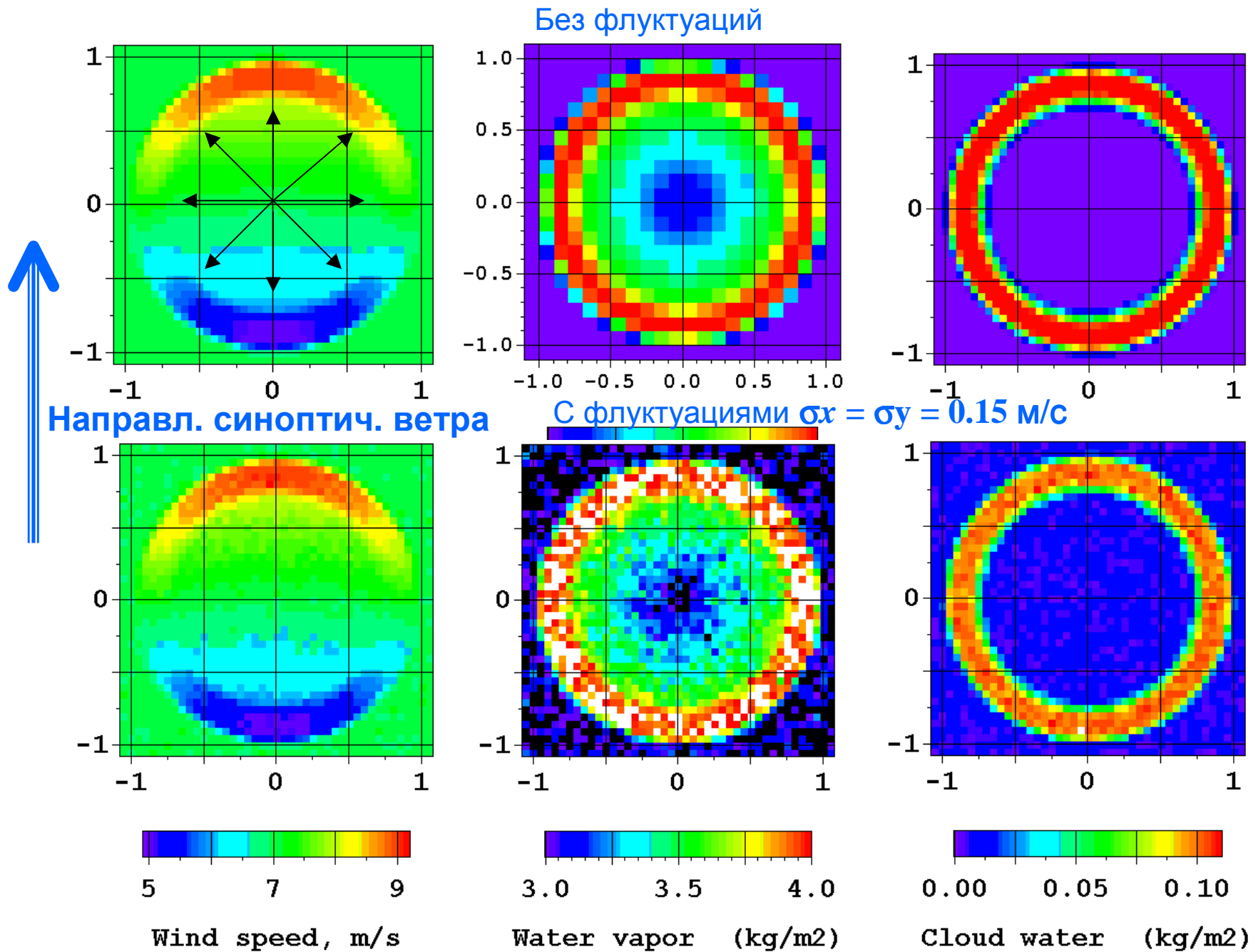
$\kappa^{\text{В.Г}}$  - коэффициент излучения океана на в- и г-поляризациях,

$\alpha(\nu) = \tau_{\text{к}}(\nu) + \tau_{\text{вп}}(\nu) + \tau_{\text{обл}}(\nu)$  – полное поглощение в атмосфере

# Моделирование пассивных и активных микроволновых характеристик мезомасштабных конвективных гряд, открытых и закрытых ячеек

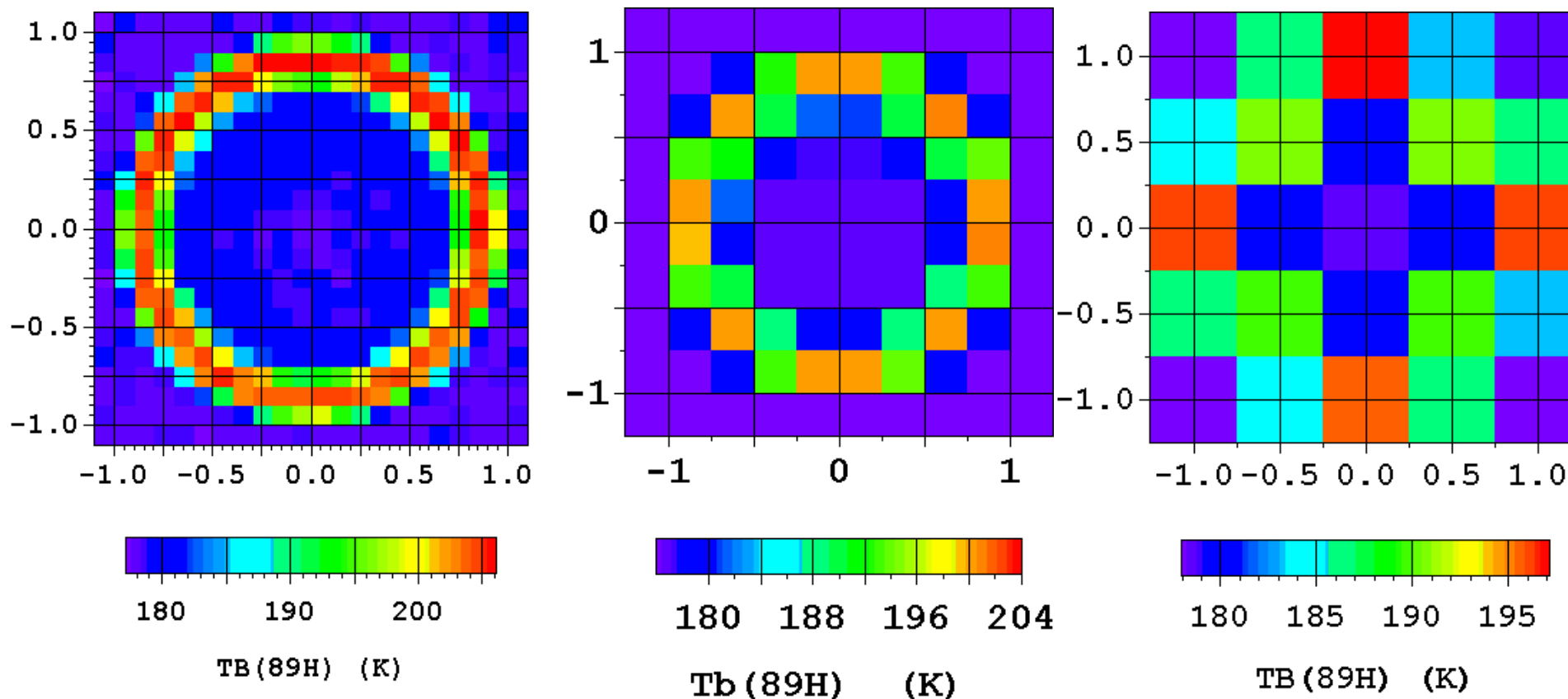


# Мезомасштабные открытые ячейки



# Яркостные температуры открытой ячейки на частоте 89 ГГц на горизонтальной поляризации.

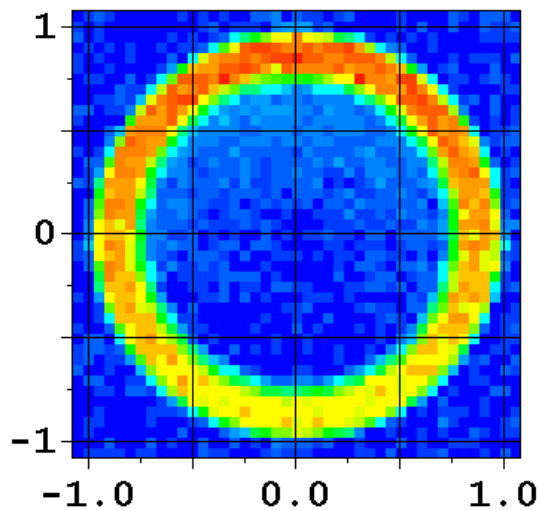
## Пространственное сглаживание



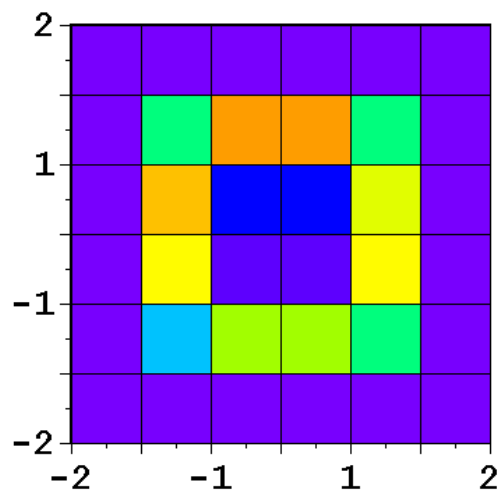
Скорость синоптического ветра  $W_{\text{син}} = 7$  м/с,  
амплитуда скорости ветра в ячейке  $W_{\text{м}} = 2$  м/с,  
флуктуации скорости ветра вдоль осей  $x$  и  $y$   $\sigma_x = \sigma_y = 0.15$  м/с.



**Яркие температуры  
открытой  
ячейки.  
Пространственное  
сглаживание**



146 154 162



148 152 156

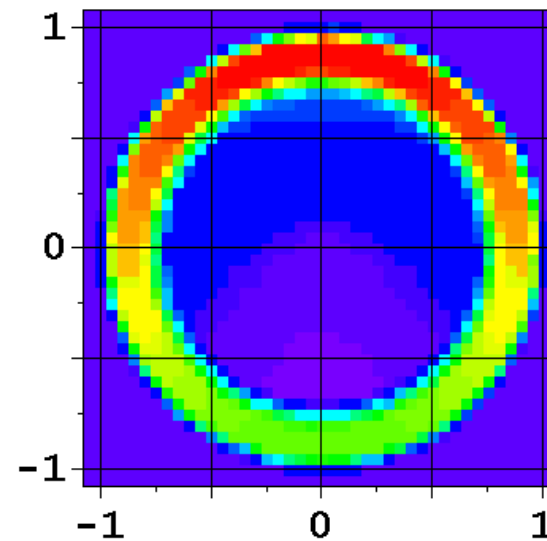
T<sub>b</sub> (36H) (K)



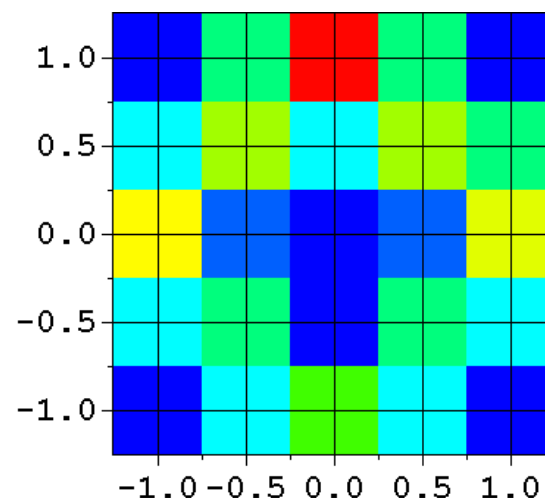
**Направление  
синоптического ветра**

**36.5 ГГц**

**18.7 ГГц**



136 138 140 142

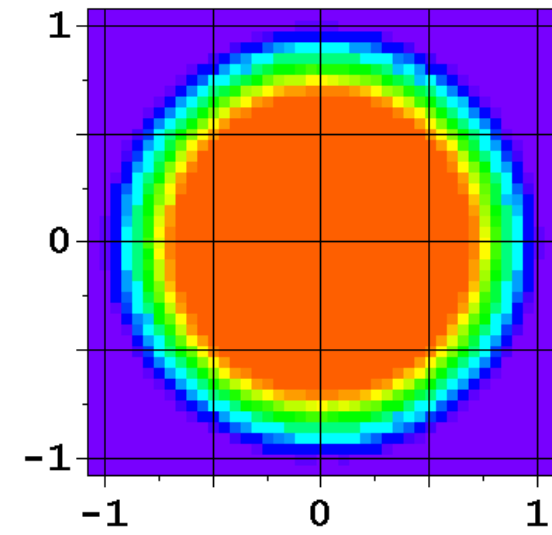
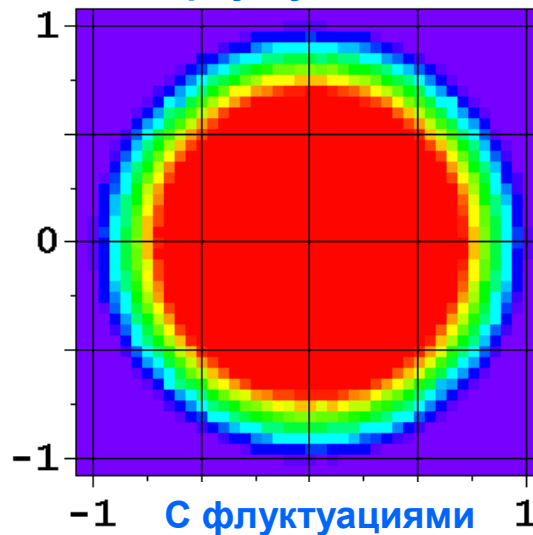
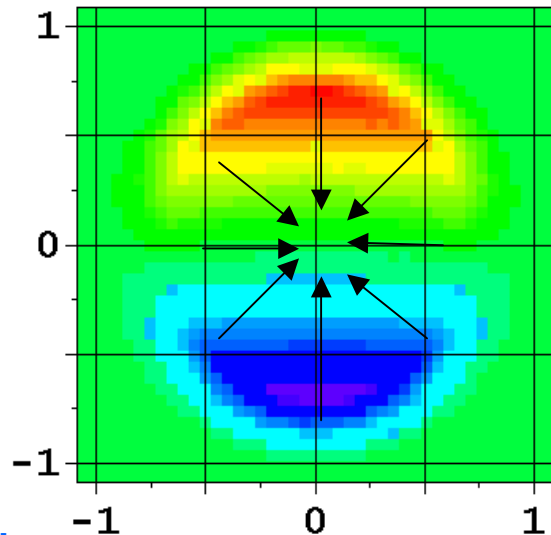


136 138 140

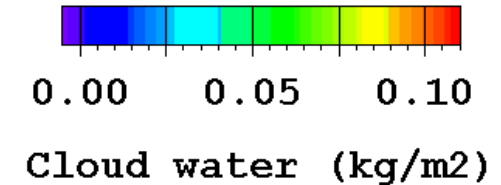
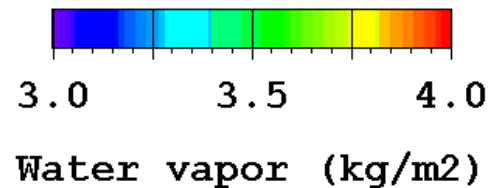
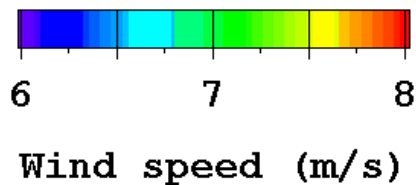
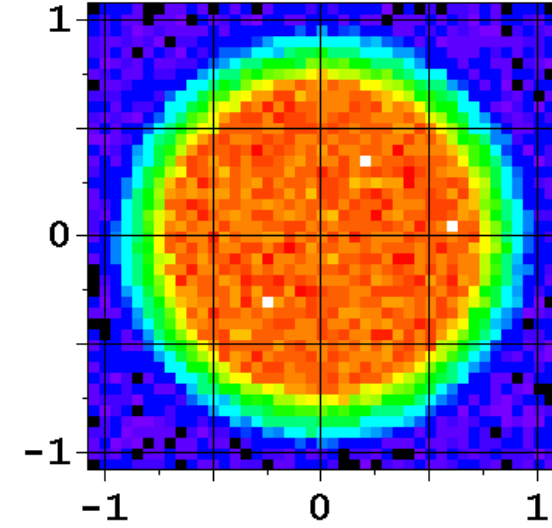
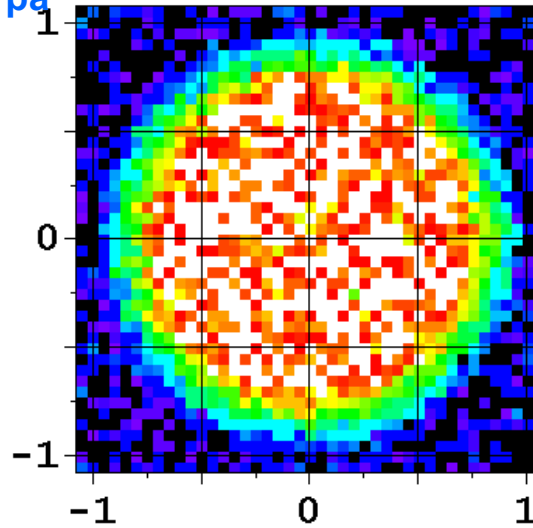
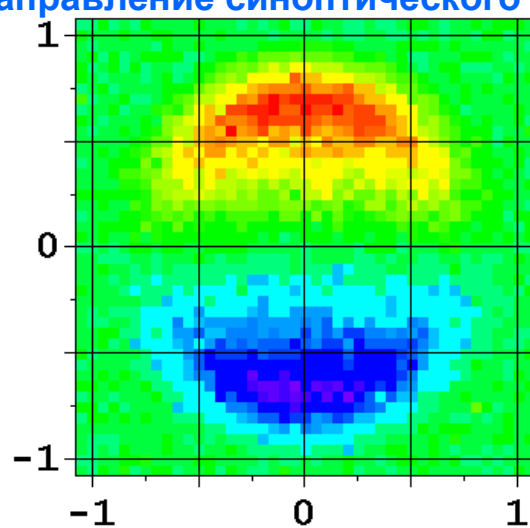
T<sub>B</sub> (19H) (K)

# Параметры мезомасштабной закрытой ячейки

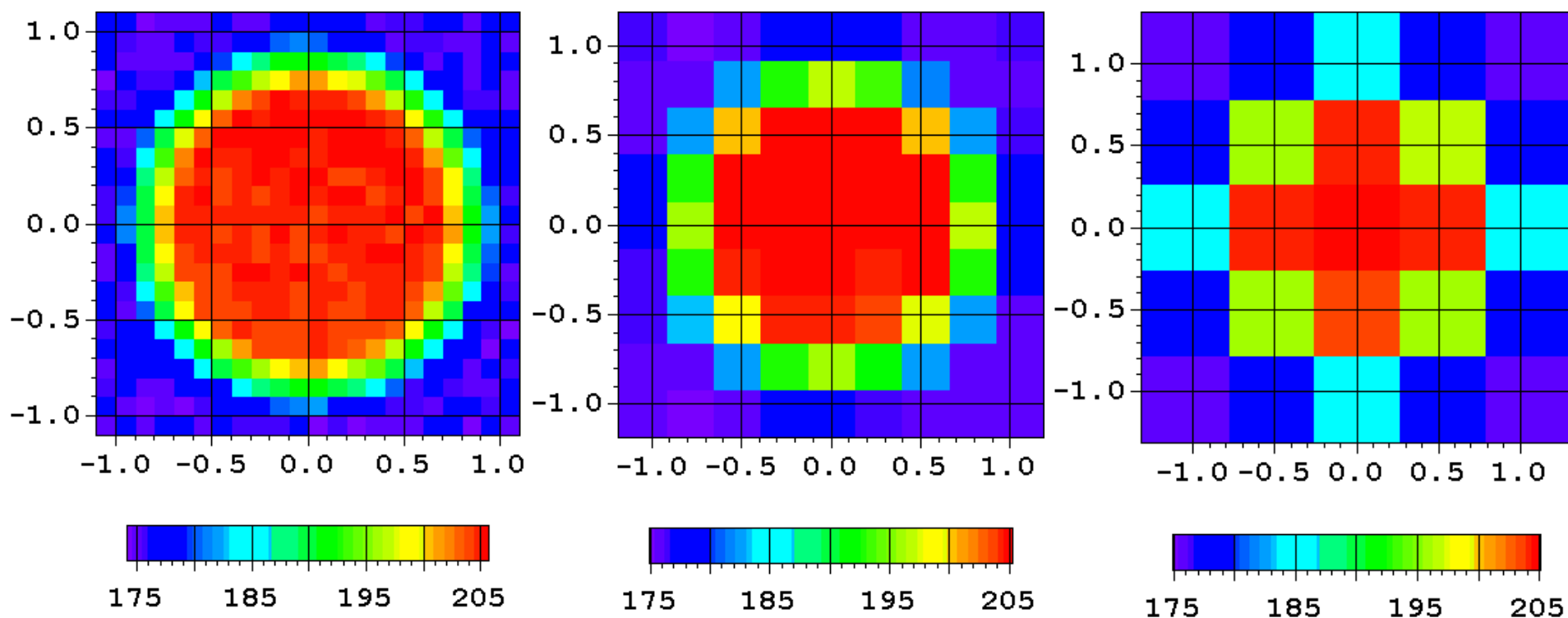
Без флуктуаций



Направление синоптического ветра

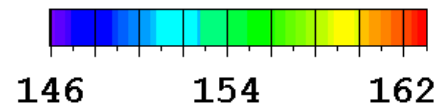
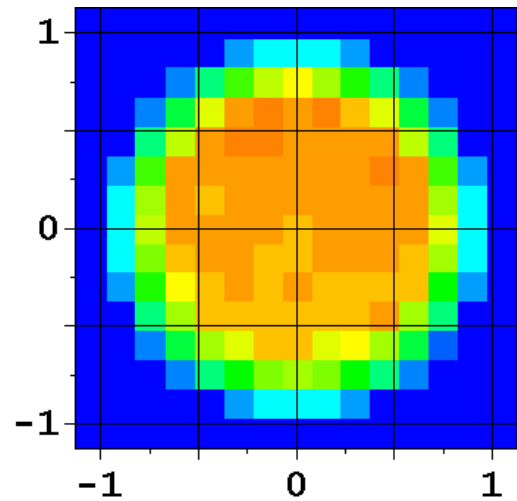
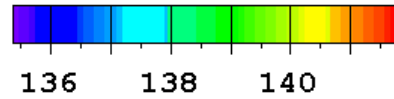
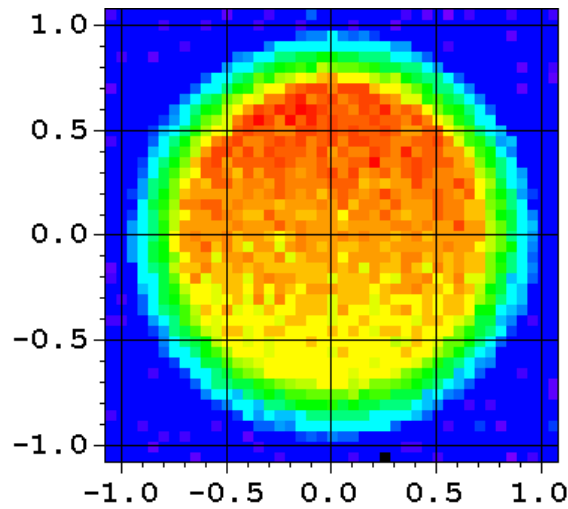
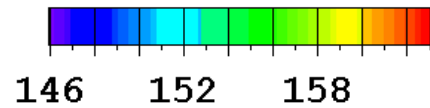
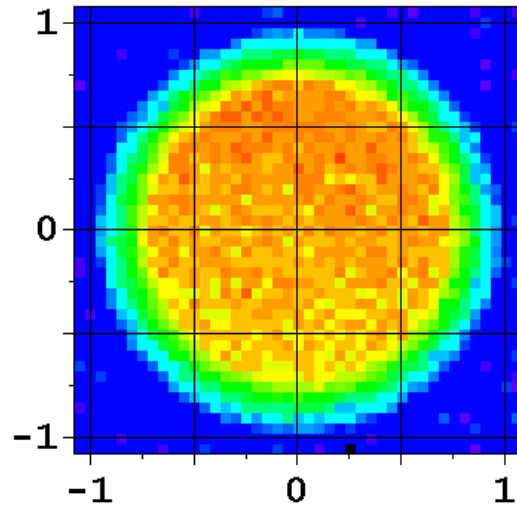


# Яркостная температура **закрытой** ячейки на частоте 89 ГГц на горизонтальной поляризации. Пространственное сглаживание

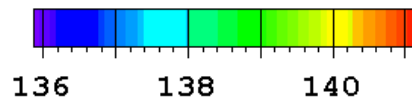
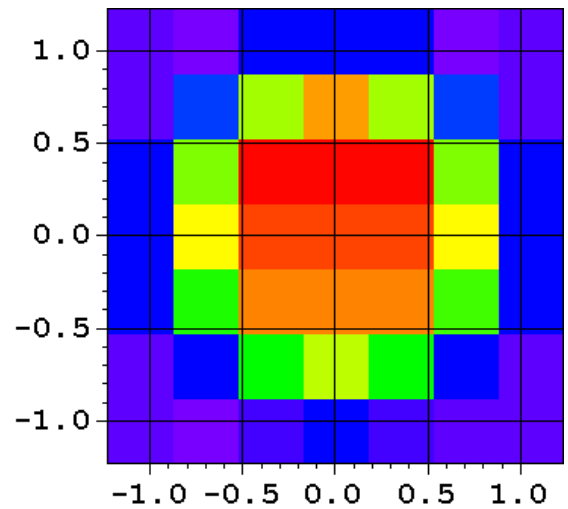


Синоптическая скорость ветра у поверхности  $W_{\text{син}} = 7$  м/с,  
амплитуда скорости ветра в ячейке  $W_{\text{м}} = 1$  м/с,  
флуктуации скорости вдоль осей  $x$  и  $y$   $\sigma_x = \sigma_y = 0.15$  м/с.

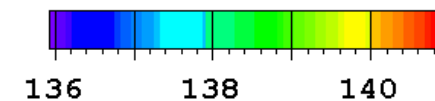
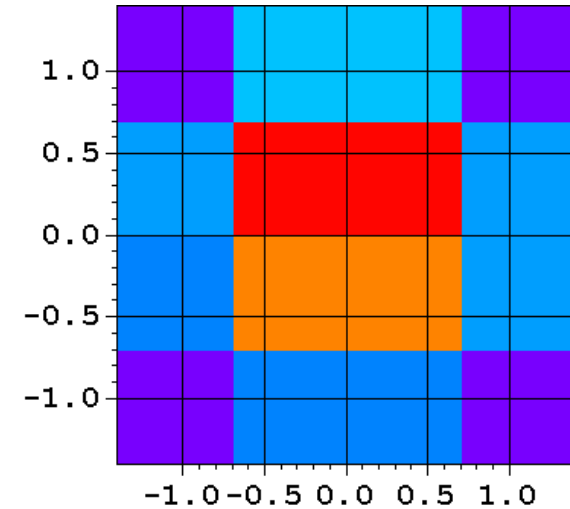
Яркостные температуры **закрытой** ячейки на частотах 36.5 и 18.7 ГГц на горизонтальной поляризации. Пространственное сглаживание



36.5 ГГц



18.7 ГГц

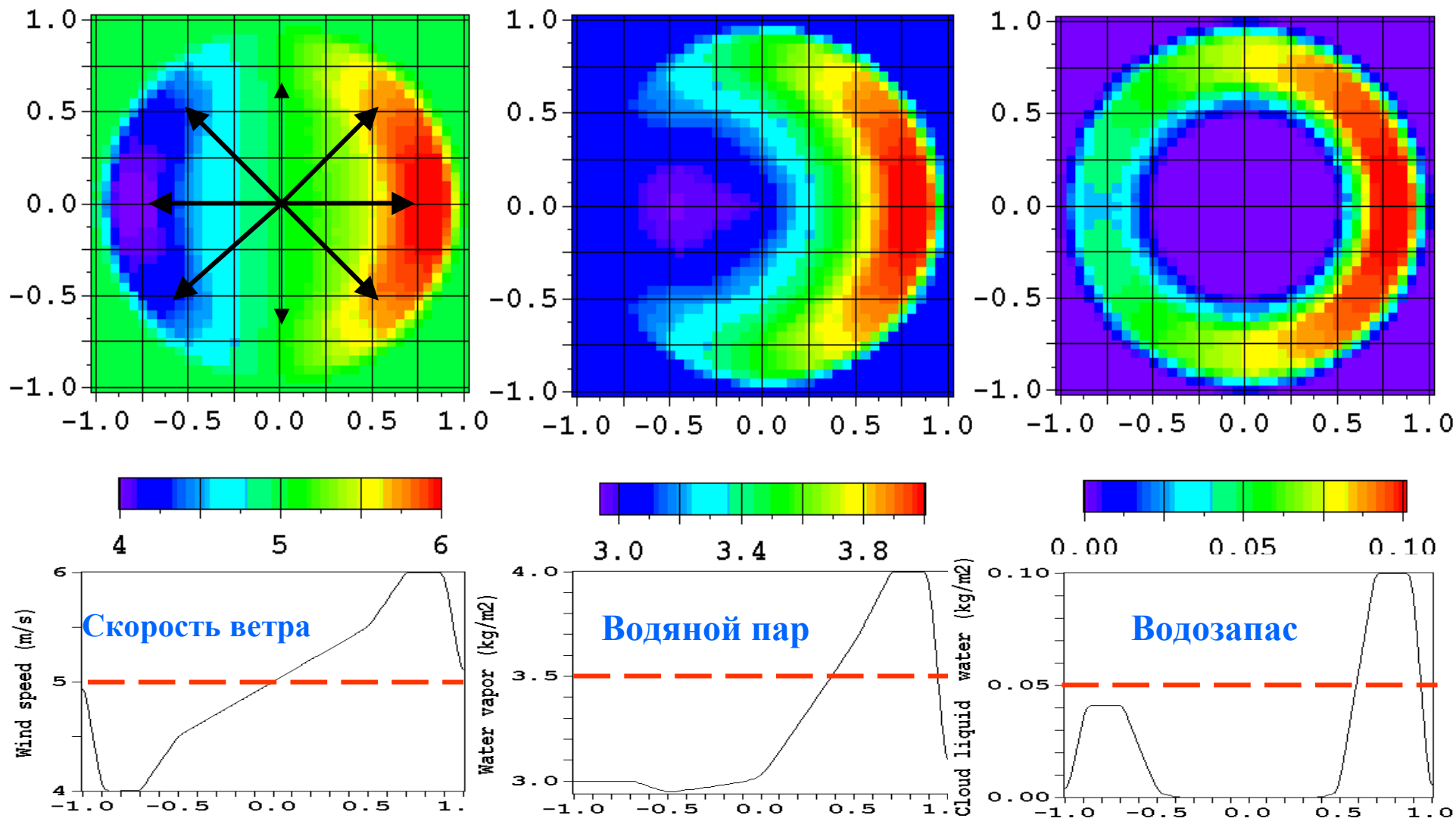


18.7 ГГц

# Открытая ячейка. Поля параметров



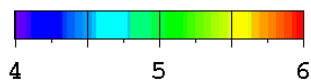
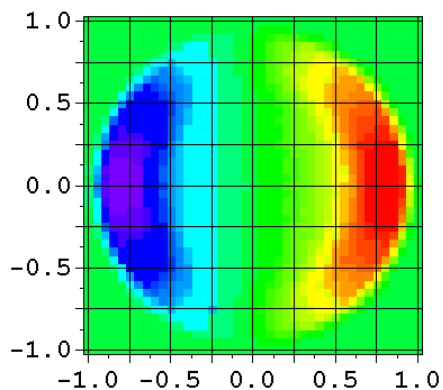
Синоптический ветер  $W = 5$  м/с



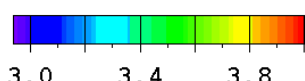
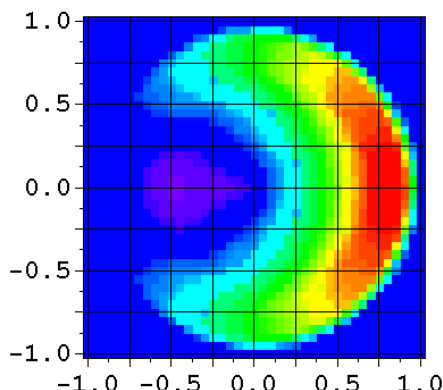
# Открытая ячейка. Узкое облачное кольцо



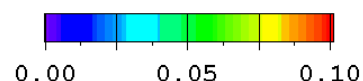
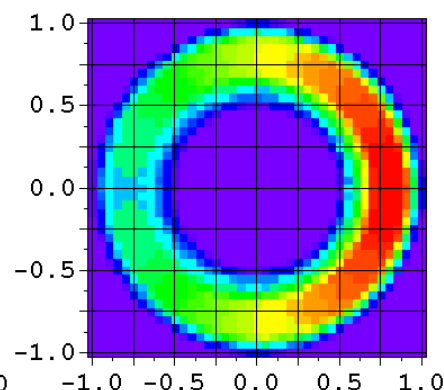
Синоптический ветер  $W = 5$  м/с



Wind (m/s)



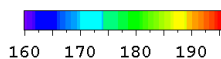
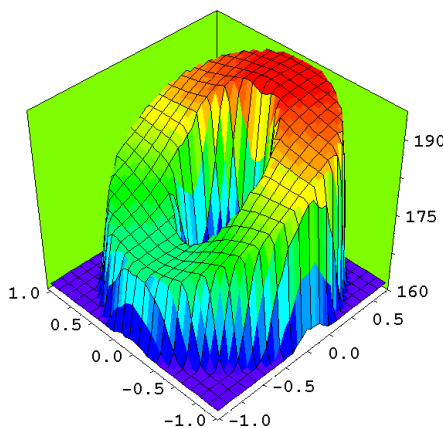
Vapor (kg/m2)



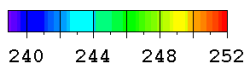
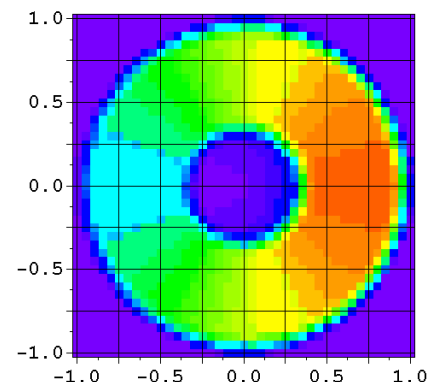
Clouds (kg/m2)

Параметры

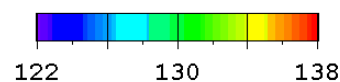
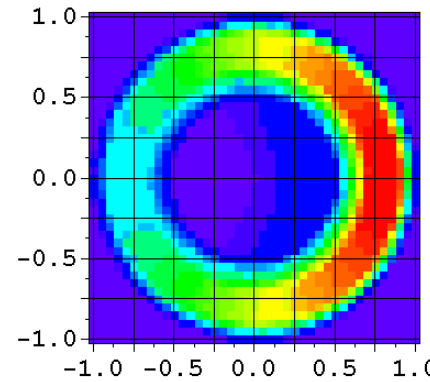
Яркостные температуры



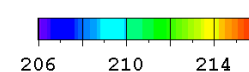
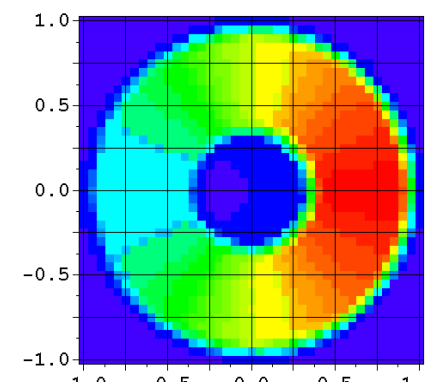
89.0 ГГц, Г



89.0 ГГц, В



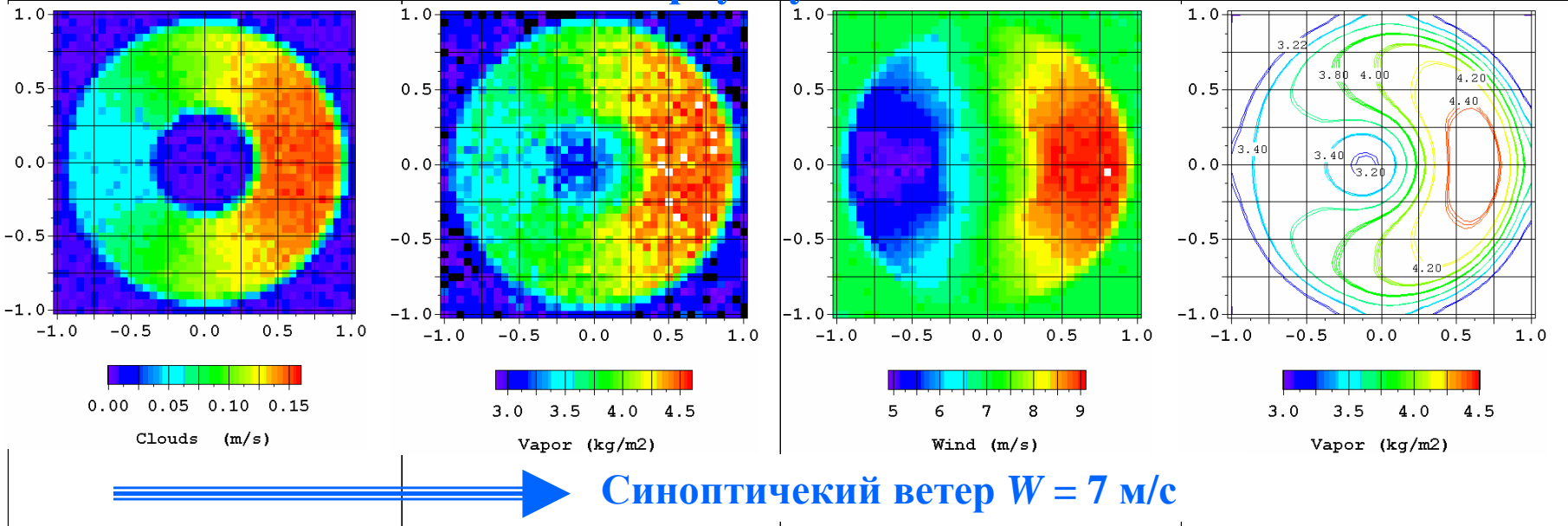
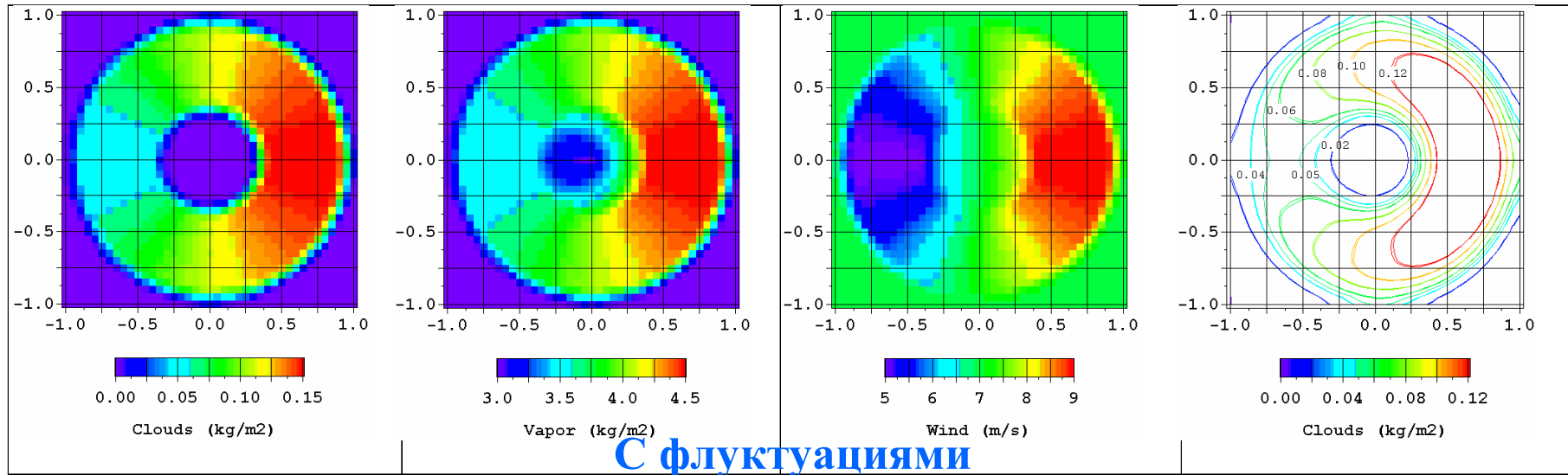
36.5 ГГц, Г



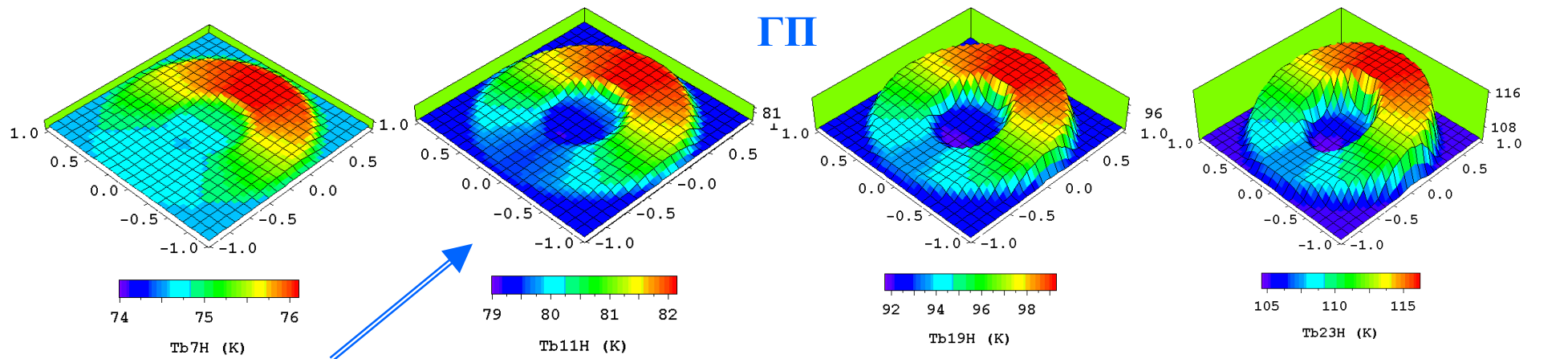
36.5 ГГц, В

# Параметры открытой ячейки. Широкое облачное кольцо.

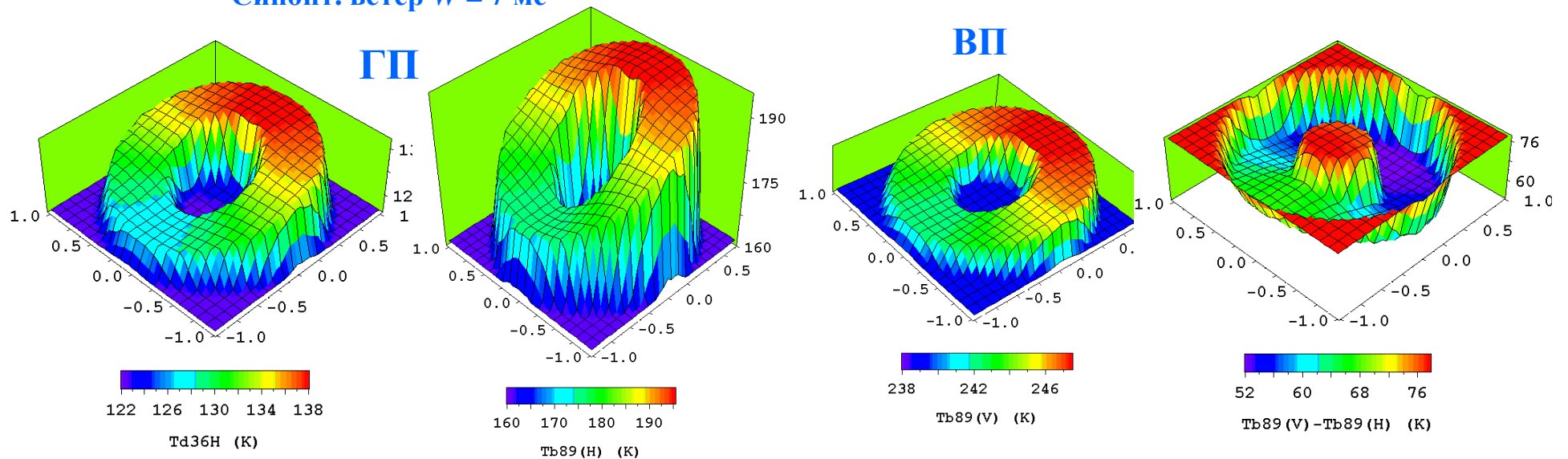
Без флуктуаций



# Яркостные температуры открытой ячейки. Широкое облачное кольцо.

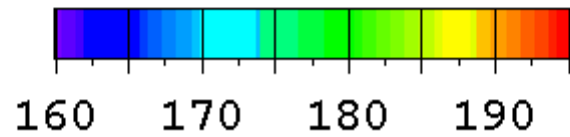
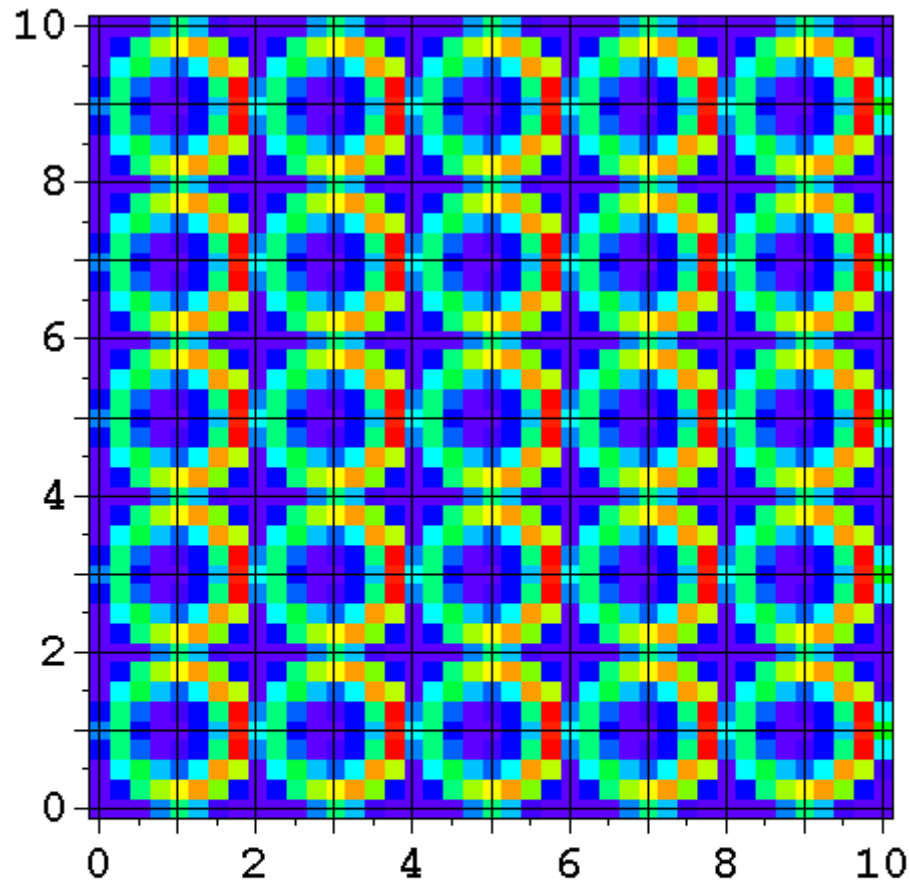


Синопт. ветер  $W = 7$  мс

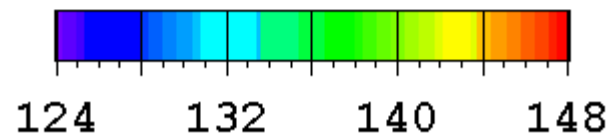
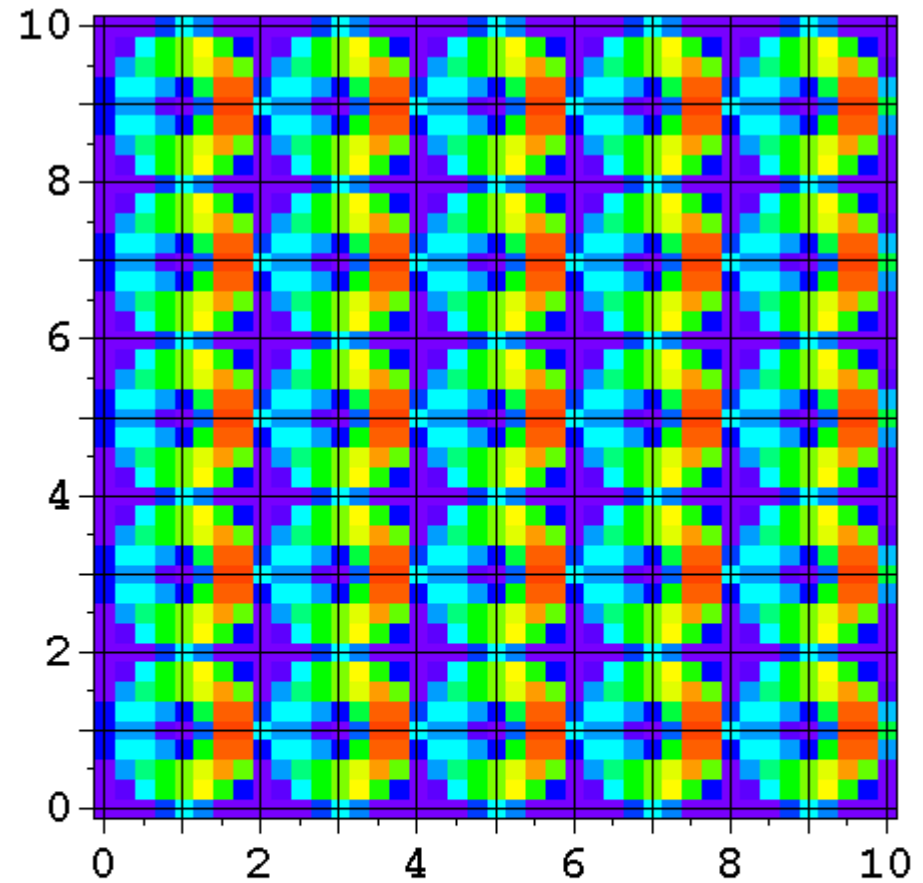




# Поле яркостных температур открытых ячеек

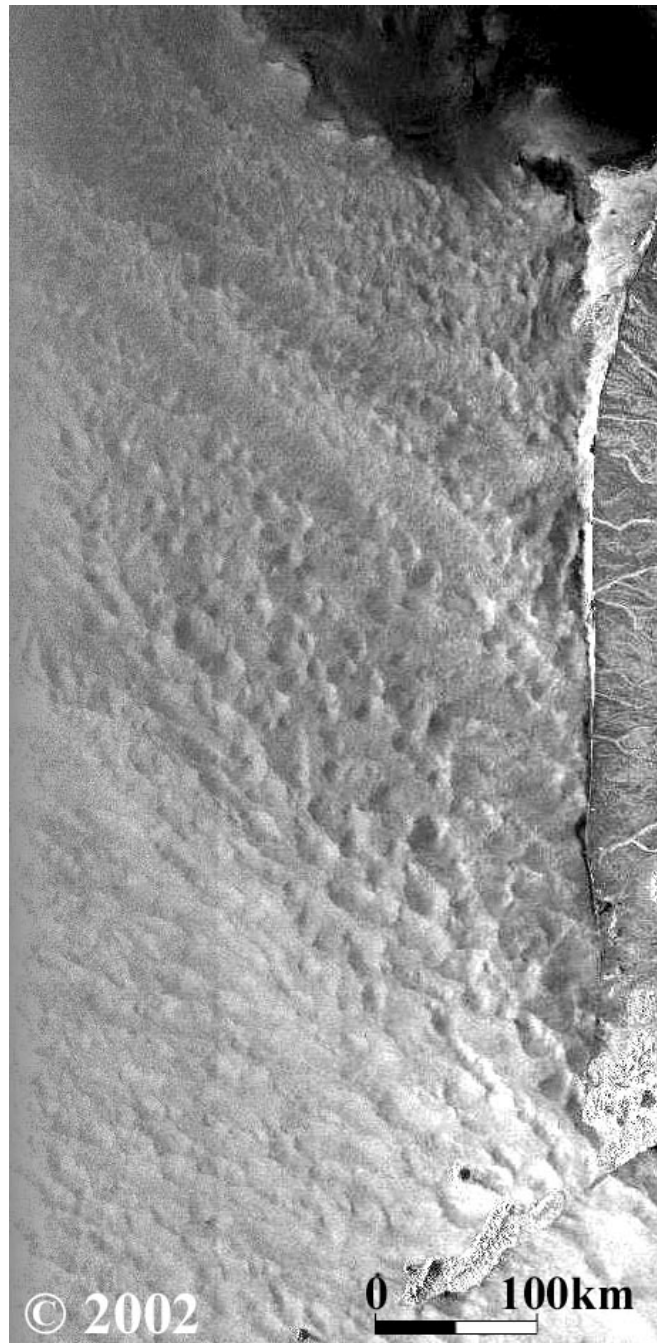
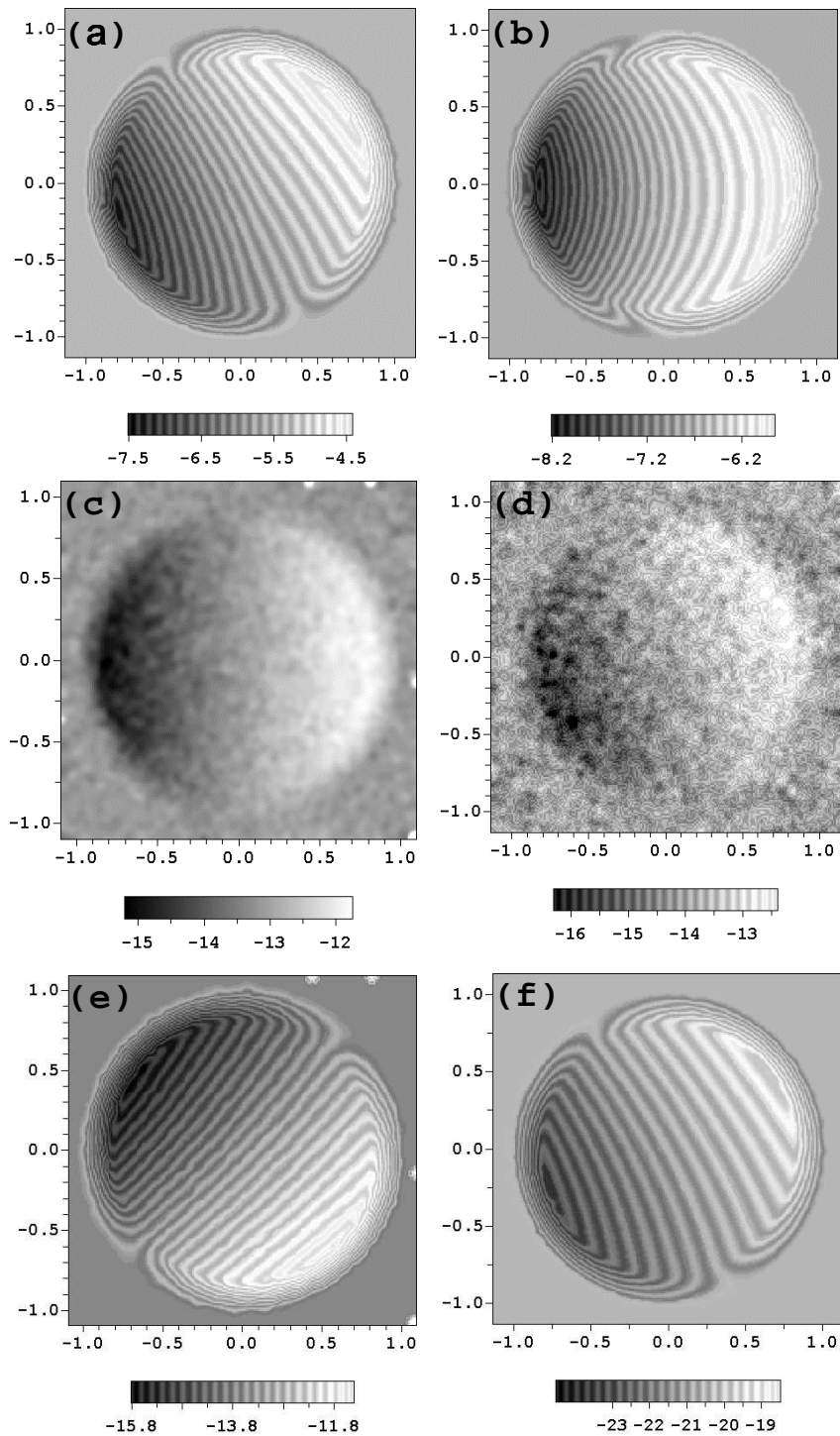


Tb89H\_05



Tb36H\_05

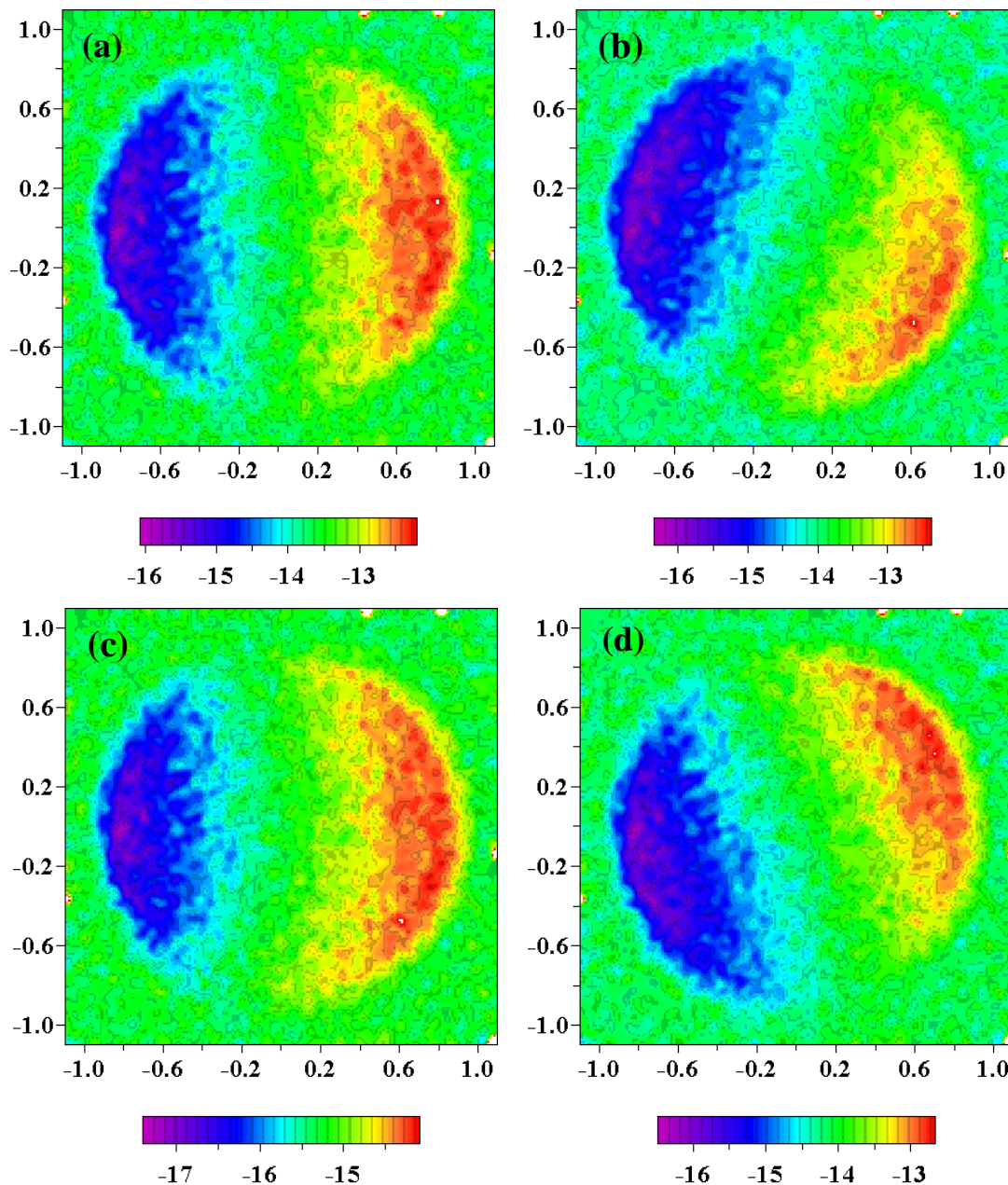
**МКЯ**



**Envisat  
ASAR**

**20 дек. 2002,  
04:21 UTC**

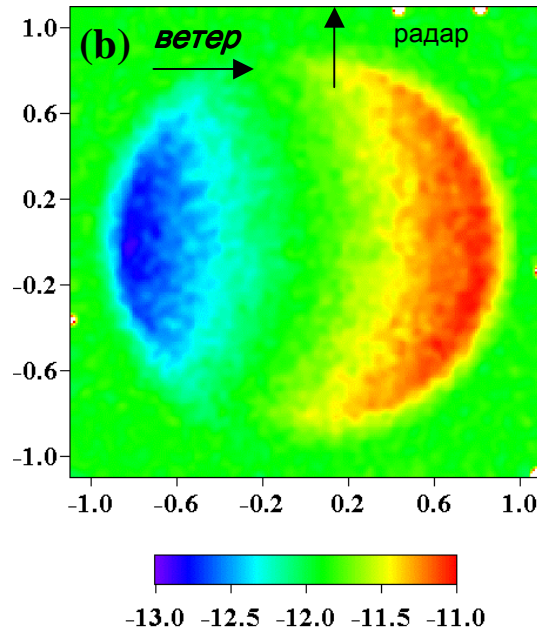
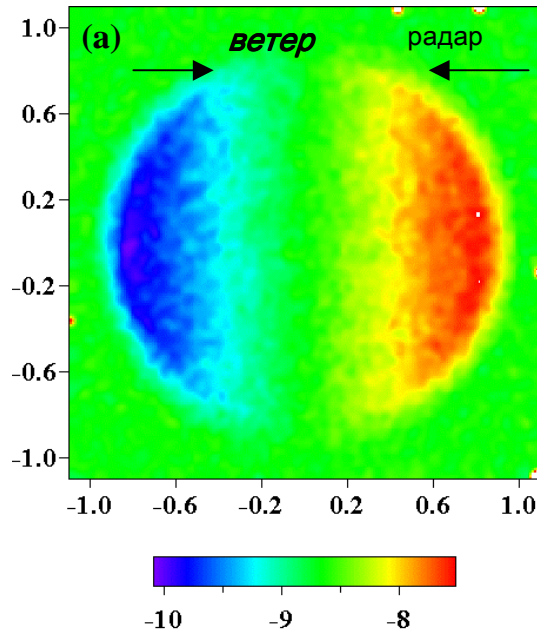
# Мезомасштабные конвективные ячейки



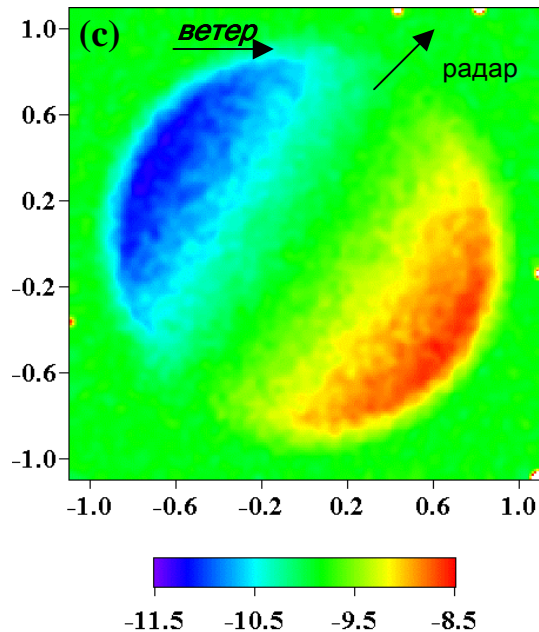
Поля УЭПР открытой ячейки рассчитанные по модели **CMOD 4** при угле визирования  **$30^\circ$** .

Скорость синоптического ветра  $W_{\text{син}} = 4$  м/с, амплитуда мезомасштабной циркуляции в ячейке  $W_m = 1$  м/с, флуктуации скорости ветра вдоль осей  $x$  и  $y$   $\sigma_x = \sigma_y = 0.15$  м/с. Угол между  $W_{\text{син}}$  и направление радиолокационного зондирования  $\varphi = 0^\circ$  (a),  $135^\circ$  (b),  $90^\circ$  (c) и  $45^\circ$  (d).

# Мезомасштабные конвективные ячейки



Вариации РЛ-отпечатков открытой ячейки при изменении угла между синоптическим ветром и направлением РЛ-зондирования. С-band.



Скорость синоптич. ветра  $W_{\text{син}} = 9 \text{ м/с}$

Амплитуда мезомасштабной скорости и

ветра  $W_{\text{м}} = 2 \text{ м/с}$

Среднеквадратичные флуктуации

скорости ветра вдоль осей  $x$  и  $y$   $\sigma$

$= 0.15 \text{ м/с}$

Mitnik, L.M., Mesoscale coherent structures in the surface wind field during cold air outbreaks over the far eastern seas from the satellite side looking radar, *La Mer*, 30, 287–96, 1992.

# Заключение

1. Предложена трехкомпонентная модель распределения полей приводного ветра, паросодержания атмосферы и водозапаса облаков для районов ячейковой и грядовой конвекции в пограничном слое атмосферы над океаном.
2. Расчетные поля яркостных температур и поля удельной эффективной площади рассеяния океана  $\sigma^{\circ}$  хорошо согласуются с экспериментальными полями  $T_{я}$ , измеренными микроволновыми радиометрами AMSR-E и AMSR и полями  $\sigma^{\circ}$  по данным ERS-1/2 и Envisat.
3. Предложенная модель может быть использована для оценки пространственного сглаживания и разработки алгоритмов восстановления полей паросодержания атмосферы и водозапаса облаков в районах с организованной мезомасштабной изменчивостью.





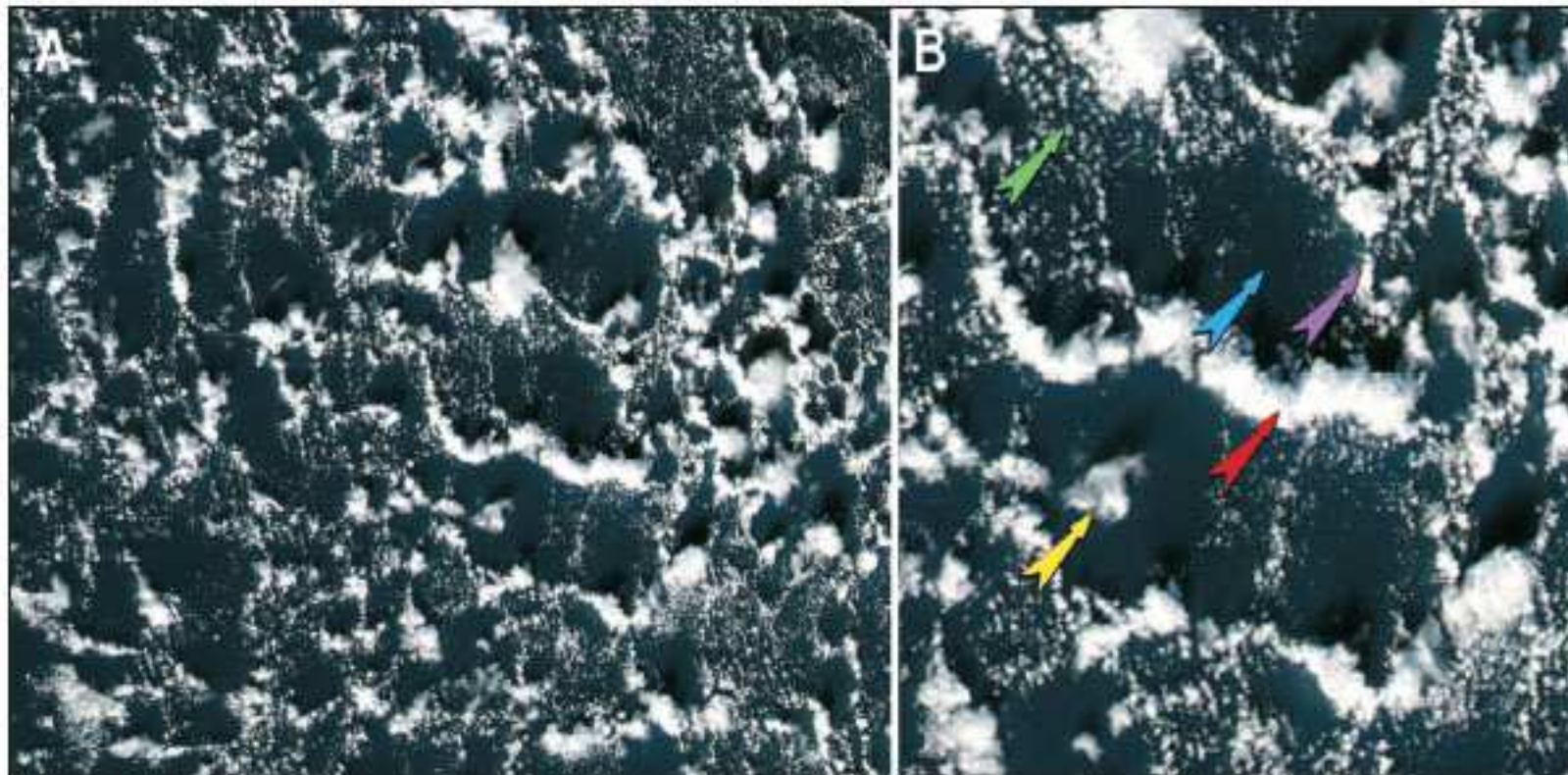
# Метеорологические шкалы и спутниковые сенсоры

Масштаб по Orlandski (1975)	Пространственный масштаб	Сенсор	Сопутствующие данные
Макро $\alpha$ (планет)	10 000–40 000 км		
Макро $\beta$ (синоптич)	2000–10 000 км		
Meso $\alpha$	200–2000 км	AMSR/AMSR-E, RAR, SAR	SeaWinds, AVHRR,
Meso $\beta$	20–200 км	AMSR/AMSR-E, RAR, SAR	MODIS, карты погоды
Meso $\gamma$	2–20 км	AMSR/AMSR-E, RAR, SAR	
Micro $\alpha$	200–2000 м	SAR	
Micro $\beta$	20–200 м	SAR	
Micro $\gamma$	2–20 м		

Orlandski, I., 1975: A rational subdivision of scales for atmospheric processes. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 56, 527–530.



# Строение открытой конвекционной ячейки

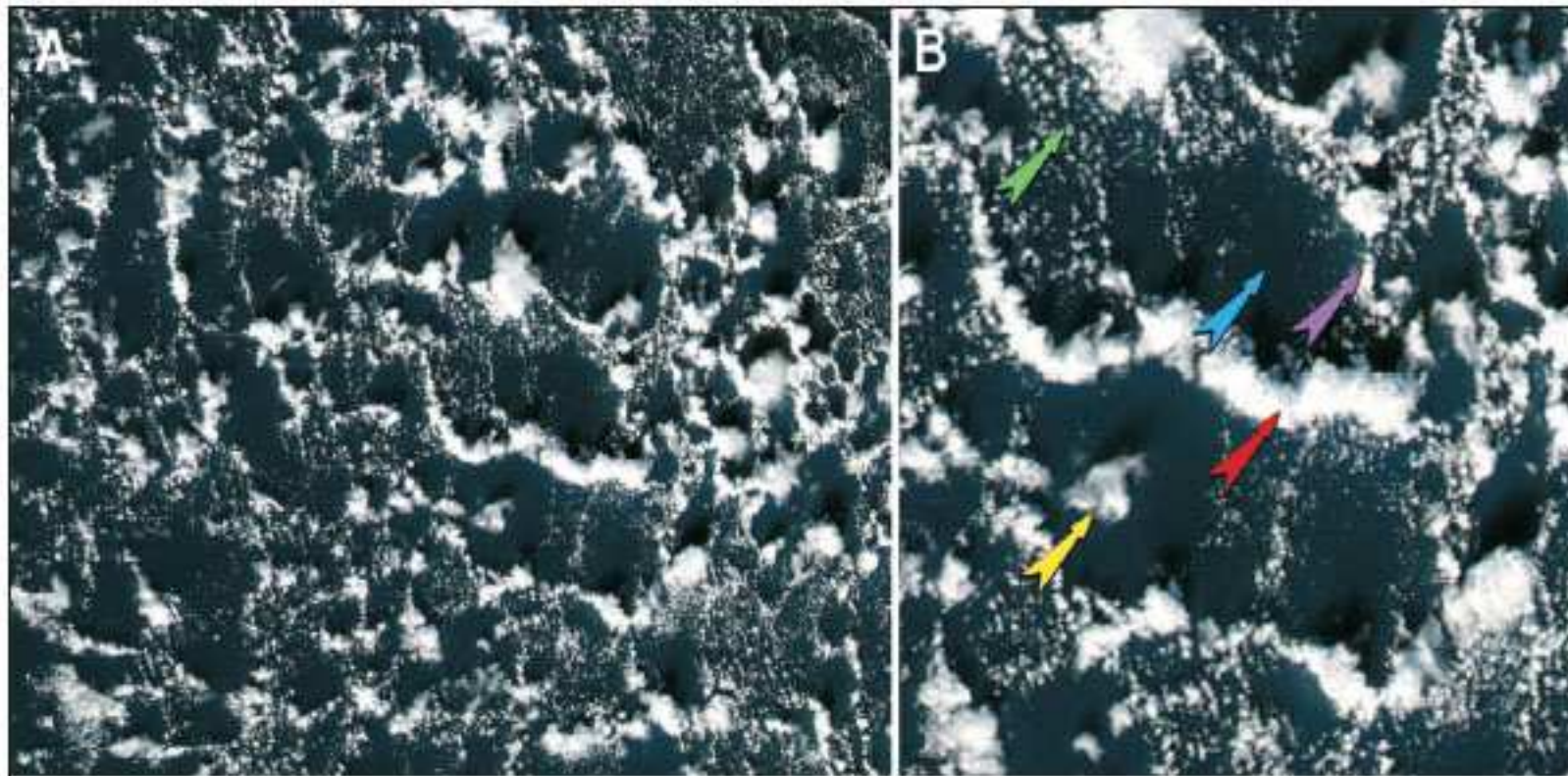


Изображения с MODIS Aqua с разрешением 250 м пикселей за 2240 UTC 28 октября 2006:

(А)- изображение 1000 x 775 пикселей;

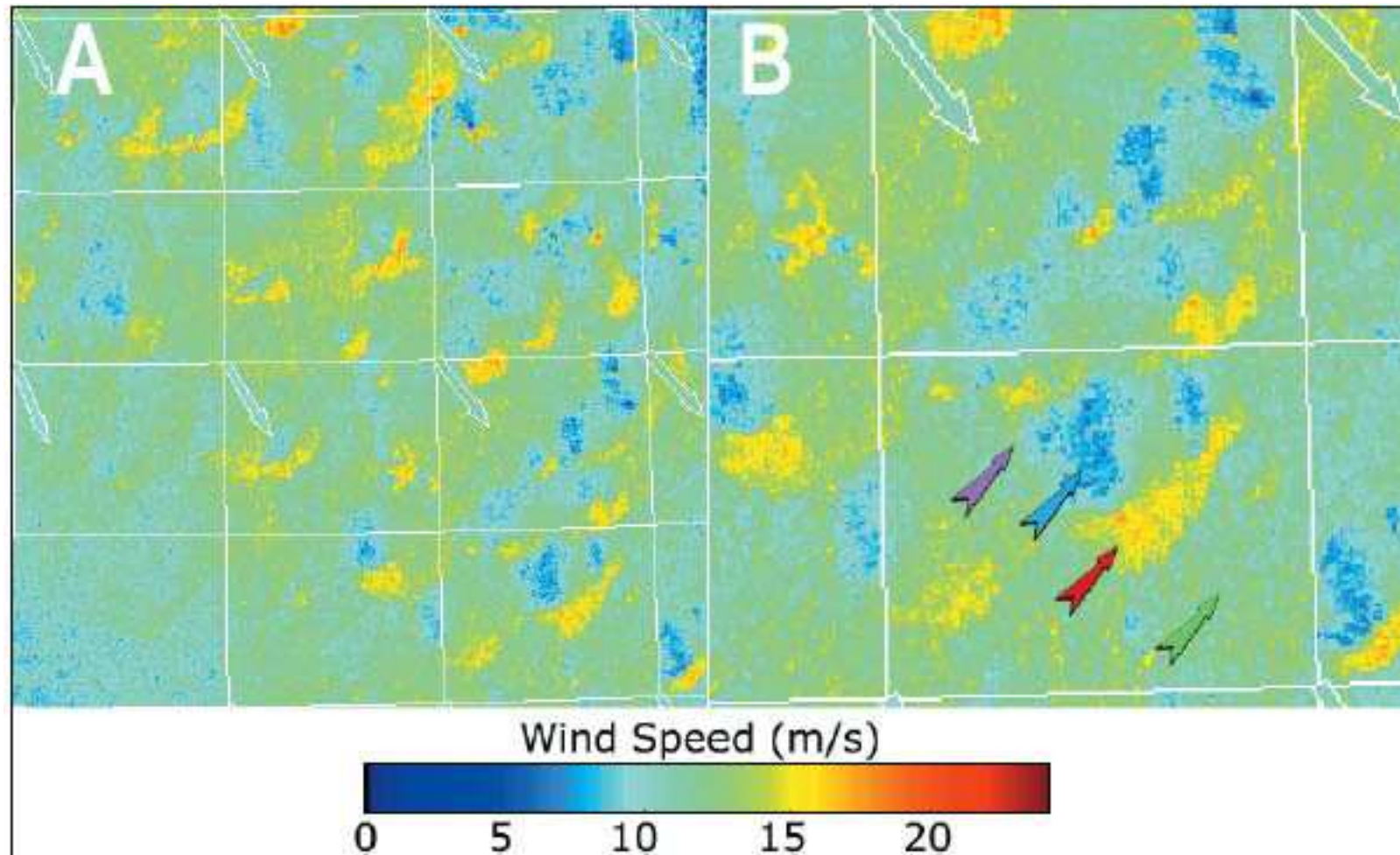
(Б) - вдвое увеличенный фрагмент, на котором хорошо различимы открытые конвективные ячейки. Красная стрелка указывает на дуги из мощных кучевых облаков на шквалистом фронте вдоль переднего края ячейки. Розовая стрелка указывает мелкое облачное кольцо, охватывающее сторону ячейки, где дует поперечный ветер. Голубая стрелка указывает на безоблачную холодную область в центре ячейки. Желтая стрелка указывает на остатки глубокого кучевого облака, а зеленая - на однородное поле маленьких облаков в относительно невозмущенном слое между облаками. (Young G.S., T.D. Sikora and C.M. Fisher. Use of MODIS and SAR... Canadian J. Rem. Sens., 2007, 33, N 5, pp. 357-367 )

# Morphology of open cell convection



MODIS Aqua 250 m pixel true color image for 2240 UTC on 28 Oct 2006: (A) image is 1000 x 775 pixels; (B) image is zoomed in by a factor of two on several well-defined examples of open cell convection. The red arrows points to the cumulus congestus cloud arc at the gust front along leading edge of the cell. The pink arrow points to the shallower cloud ring bounding crosswind side of a cell. The blue arrow points to the cloud-free cold pool in the center of a cell. The yellow arrow points to the debris of a previous deep cumulus, and the green arrow points to the uniform field of small cumulus in the relatively undisturbed boundary layer between clouds. (Young G.S., T.D. Sikora and C.M. Fisher. *Use of MODIS and SAR... Canadian J. Rem. Sens.*, 2007, 33, N 5, pp. 357-367 )

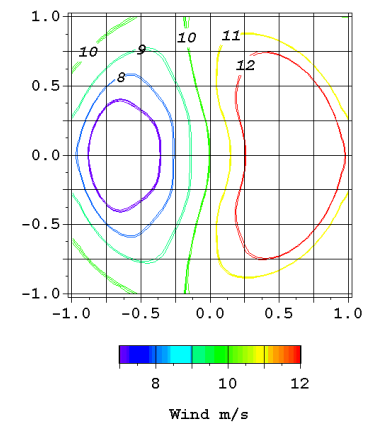
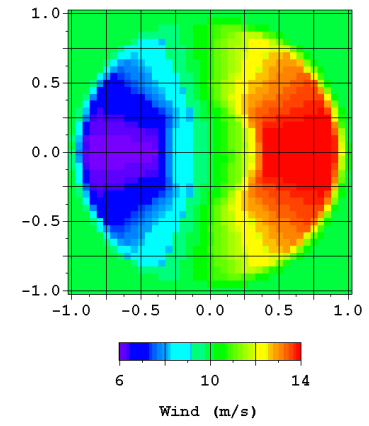
# Morphology of open cell convection



**Figure 6.** (A) RADARSAT-1 600 m pixel wind-speed image valid at 0253 UTC on 29 October 2006. The image has been cropped to show part of the Gulf of Alaska and is centered near 52°N, 136°W. The image is 428 × 431 pixels. (B) Zoomed version of (A) on several well-defined examples of the squall-and-lull patterns. The pale blue arrows indicate the NOGAPS wind directions. The thin white lines form a 1° latitude–longitude grid. The feature-highlighting arrows are color coded as in **Figure 3**.

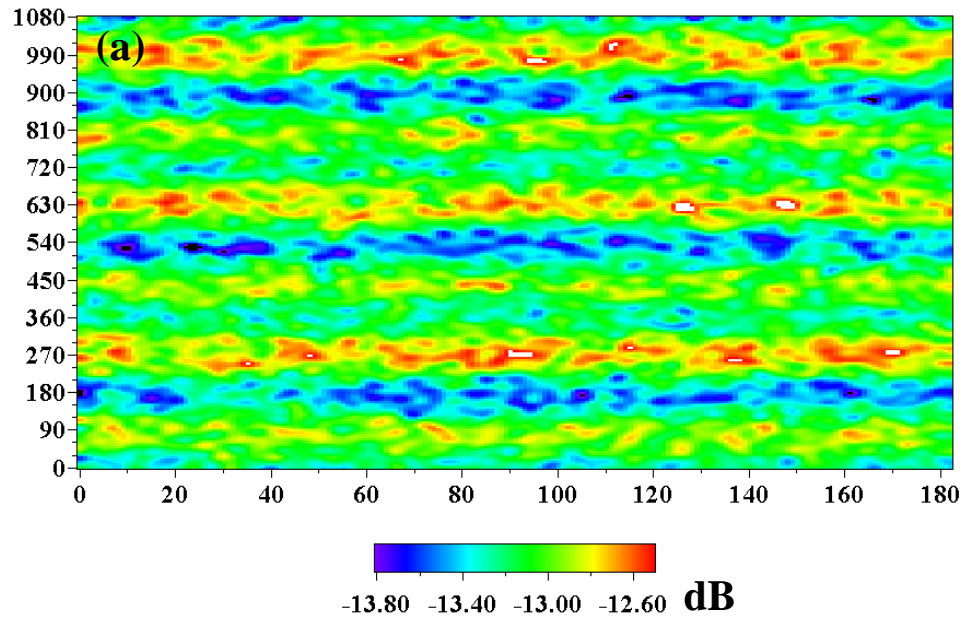
# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Updated model of microwave radiative transfer in the underlying surface – atmosphere system, radiosonde data base for the polar regions and experimental data on the first-year sea ice emissivity were used to compute the brightness temperatures at **AMSR/AMSR-E** frequencies. The atmosphere influence was estimated for the whole range of sea ice concentration. To model satellite measurements, fluctuations were added to the underlying surface emissivity and temperature and to the computed brightness temperatures.
- Statistical regression algorithms were constructed to retrieve ice concentration  $C$ , total water vapor content  $V$  and total cloud liquid water content  $Q$ . Retrieval errors  $\sigma_C$ ,  $\sigma_V$  and  $\sigma_Q$  were estimated for several versions of the algorithms differing by amount of used channels. These errors were reduced by two-step procedure. At first ice concentration was determined and the raw data were divided onto four groups depending on  $C$ -value: 0.0 – 0.1, 0.1 – 0.3, 0.3 – 0.7 and 0.7 – 1.0. Then  $V$  and  $Q$  were estimated with the algorithms tuned for a given subrange of ice concentration. Analysis of the computed brightness temperatures allowed suggesting several weather filters.
- The developed algorithms and the weather filters were applied to the **ADEOS-II AMSR** and **Aqua AMSR-E** brightness temperatures measured over the Okhotsk Sea. The retrieved fields of  $C$ ,  $V$  and  $Q$  proved to be in a good agreement with available satellite and *in situ* data ( $V$  and  $Q$  over the open sea only).



# Mesoscale convective rolls



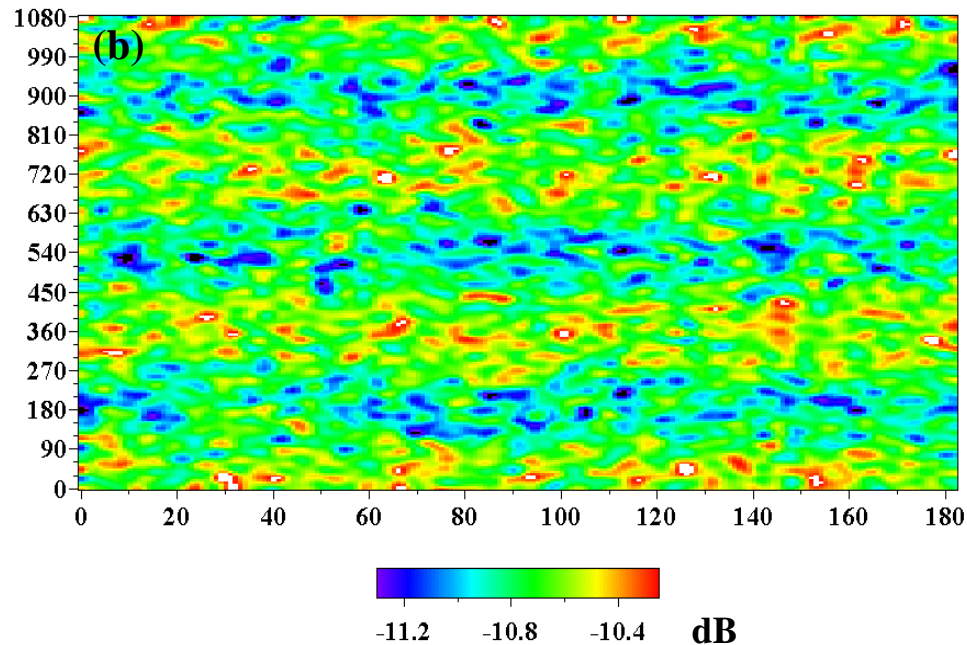
RADAR



WIND



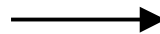
Simulations of radar backscatter variations at C-band, VV polarization and incidence angle of  $30^\circ$  caused by roll convection in the marine boundary layer of the atmosphere.



RADAR

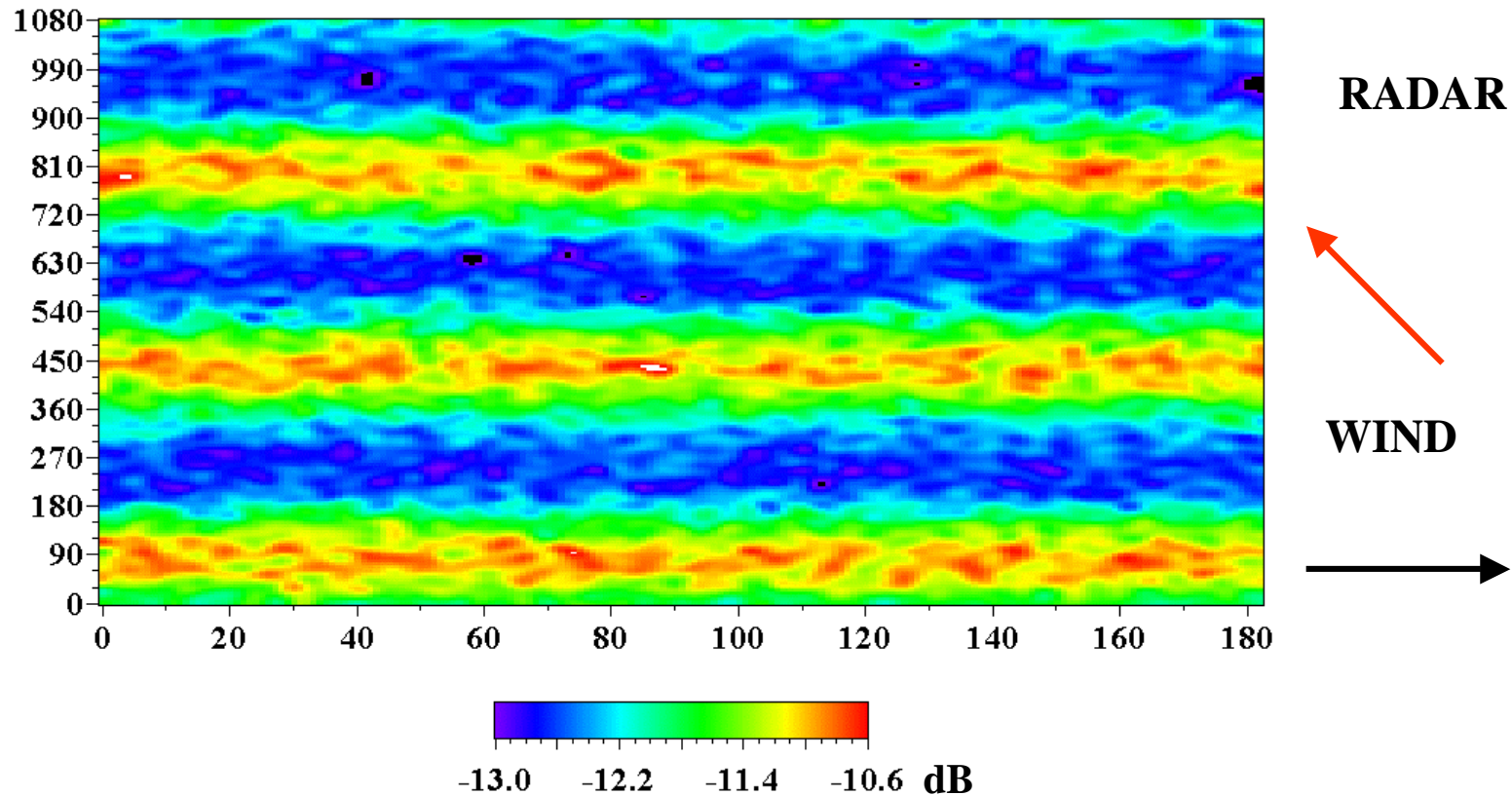


WIND



Synoptic surface wind speed  $W_{\text{syn}} = 6$  m/s. Amplitudes of mesoscale variations of wind components  $A_x = 0.5$  m/s,  $A_y = 0.3$  m/s.

# Mesoscale convective rolls

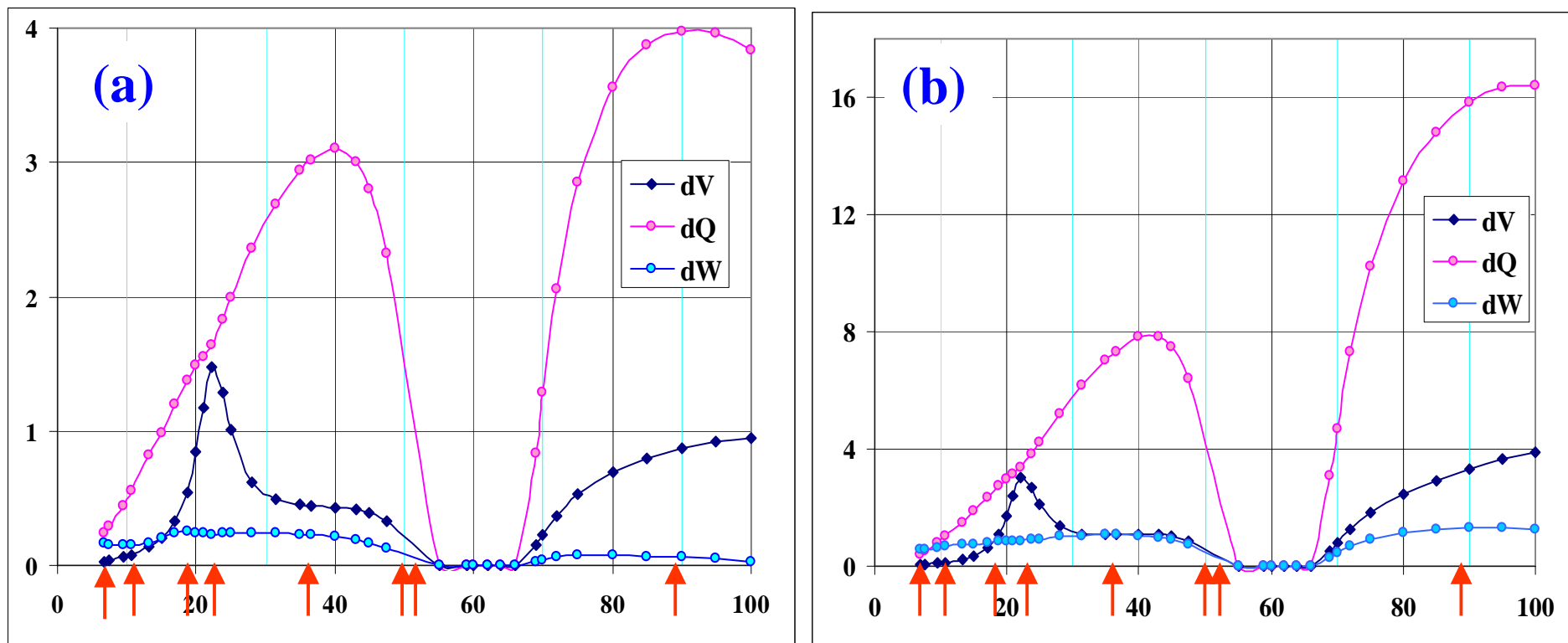


**Simulations of radar backscatter variations at C-band, VV polarization and incidence angle of  $30^\circ$  caused by roll convection in the marine boundary layer of the atmosphere.**

**Synoptic surface wind speed  $W_{syn} = 6$  m/s. Amplitudes of mesoscale variations of wind components  $A_x = 0.5$  m/s,  $A_y = 0.3$  m/s.**



# Спектры производных яркостных температур по интегральным параметрам атмосферы



Расчетные спектры производных яркостной температуры по полной массе водяного пара  $V$ , водозапасу облаков  $Q$  и скорости ветра  $W$  при  $\theta = 55^\circ$ :

(а) - на вертикальной и (б) - на горизонтальной поляризациях. Стрелки соответствуют частотам **AMSR**. Значения  $\partial T_B / \partial Q$  уменьшены в 10 раз.

Фоновые значения:  $V = 5$  кг/м<sup>2</sup>,  $Q = 0$  кг/м<sup>2</sup>,  $W = 5$  м/с

# Satellites and sensors

Mesoscale convection was studied using data obtained by:

- **Aqua AMSR-E and ADEOS-II AMSR radiometers,**
- **QuikSCAT Seawinds scatterometer and**
- **Terra and Aqua MODIS spectroradiometer.**

*All these sensors are characterized by a wide swath and possess improved spatial resolution and/or have additional spectral channels compare to such sensors as the **SSM/I, AMSU, AVHRR**, etc.*

*The high-resolution near-surface wind field was estimated by analysis of satellite **Real Aperture Radar (RAR)** and **Synthetic Aperture Radar (SAR)** images.*

## Approach:

Probe water vapor content and cloud liquid water content and structure of cold air outbreaks using **AMSR/AMSR-E** and their wind structure using **QuikSCAT** and **ASAR**.

# Параметры открытой ячейки. Широкое облачное кольцо.

