

# Моделирование тропических циклонов с использованием мезомасштабной модели ETA

И.В. Тросников, Е.С. Глебова  
кафедра метеорологии и климатологии МГУ им.  
Ломоносова

# Вертикальная координата “эта”

$$\eta \equiv \eta_s \sigma$$

$$\sigma \equiv \frac{p - p_T}{p_s - p_T}$$

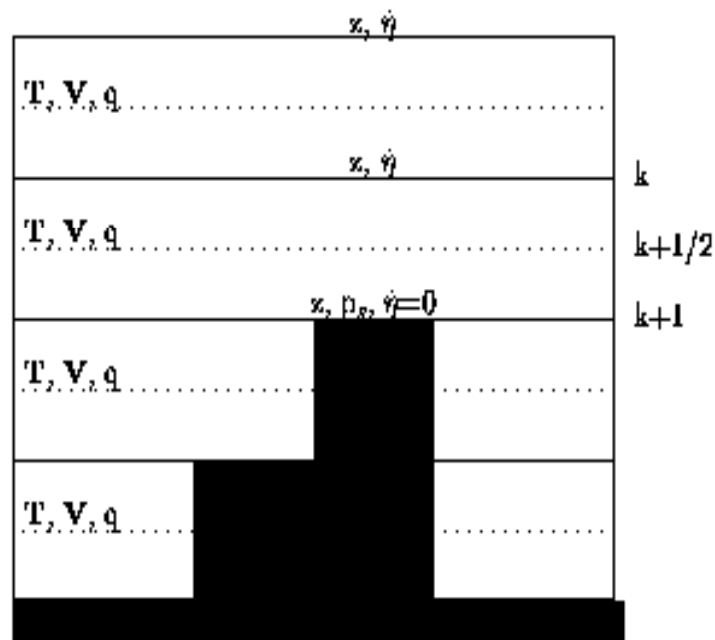
$$\eta_s \equiv \frac{P_{ref}(z_s) - p_T}{P_{ref}(0) - p_T}$$

$$P_{ref} = \frac{P_{ref}(0)}{T_{ref}^{g/\gamma_{ref}R}} (T_{ref} - \gamma_{ref}z)^{g/\gamma_{ref}R}$$

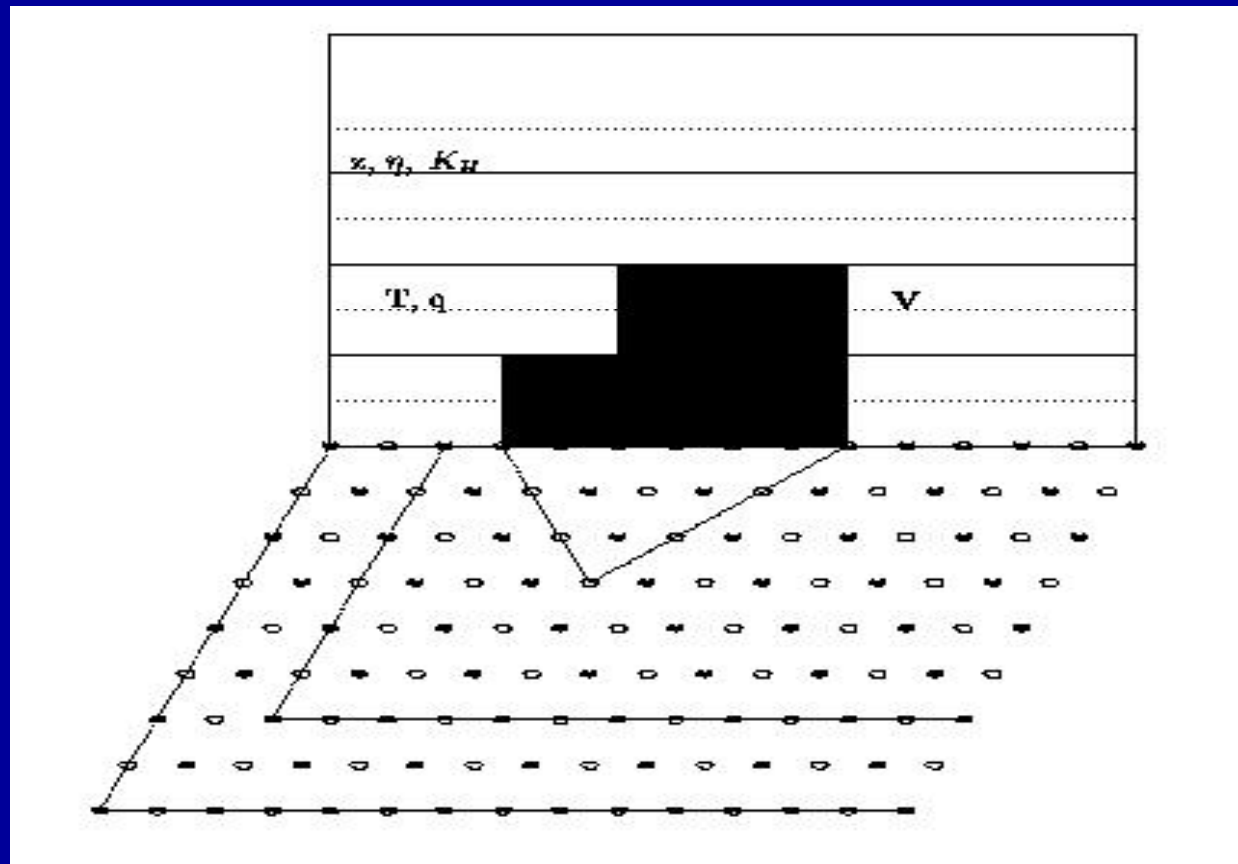
A reference temperature  $T_{ref}=288$  K at sea level (i.e.  $\eta=1$ ) and a constant lapse rate  $\gamma_{ref} = 6.5 \times 10^{-3}$  K m<sup>-1</sup> are assumed.

$$z_\eta = \frac{T_{ref}}{\gamma_{ref}} \left( 1 - \eta^{R\gamma_{ref}/g} \right)$$

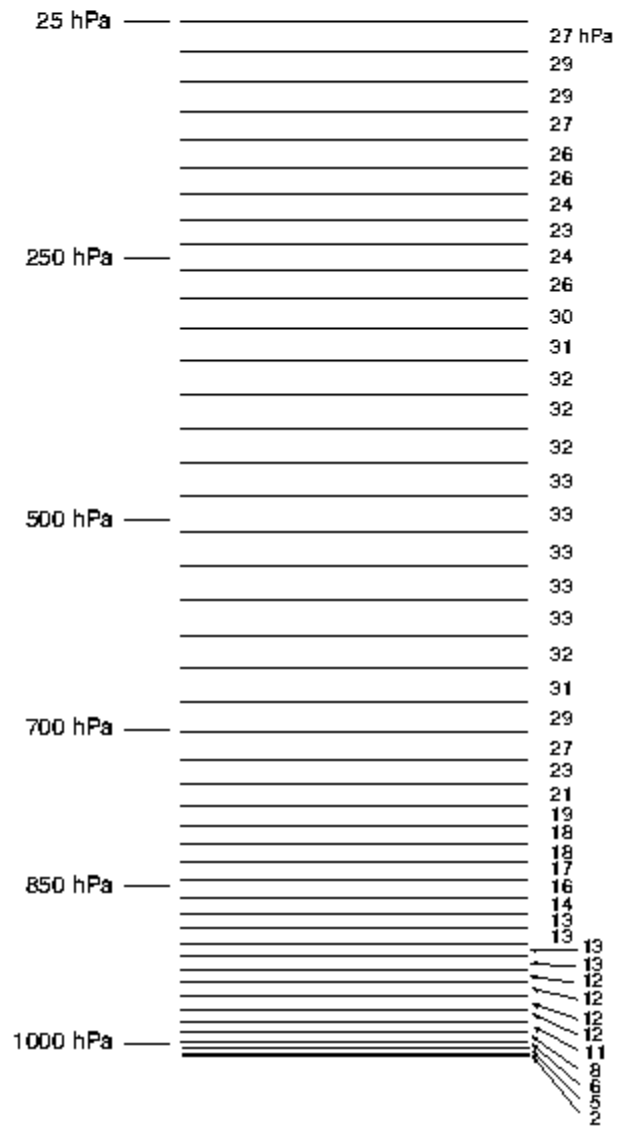
# Вертикальная структура и орография



# Вертикальная и горизонтальная сетки



### Eta Model 45—Layer Distribution



# Преобразование координат

$$\Lambda = \arctan \left( \frac{\cos \varphi \cos(\lambda - \lambda_0)}{\cos \varphi_0 \cos \varphi \cos(\lambda - \lambda_0) + \sin \varphi_0 \sin \varphi} \right)$$

$$\Phi = \arcsin (\cos \varphi_0 \sin \varphi - \sin \varphi_0 \cos(\lambda - \lambda_0))$$

\* \* \*

$$\varphi = \arcsin (\sin \varphi_0 \cos \Phi \cos \Lambda + \cos \varphi_0 \sin \Phi)$$

$$\lambda = \lambda_0 + \arcsin \left( \frac{\sin \lambda \cos \Phi}{\cos \varphi_0} \right)$$

# Уравнения модели

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} + f\mathbf{k} \times \mathbf{v} + \nabla\Phi + \frac{RT}{p}\nabla p = 0 \quad (1)$$

$$\frac{dT}{dt} - \frac{\kappa T\omega}{p} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial\eta} \left( \frac{\partial p}{\partial t} \right) + \nabla \cdot \left( \mathbf{v} \frac{\partial p}{\partial \eta} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left( \dot{\eta} \frac{\partial p}{\partial \eta} \right) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \eta} = -\frac{RT}{p} \frac{\partial p}{\partial \eta} \quad (4)$$

$$\omega \equiv \frac{dp}{dt} = -\int_0^\eta \nabla \cdot \left( \mathbf{v} \frac{\partial p}{\partial \eta} \right) d\eta + \mathbf{v} \cdot \nabla p \quad (5)$$

$$\frac{\partial p_s}{\partial t} = -\int_0^{\eta_s} \nabla \cdot \left( \mathbf{v} \frac{\partial p}{\partial \eta} \right) d\eta \quad (6)$$

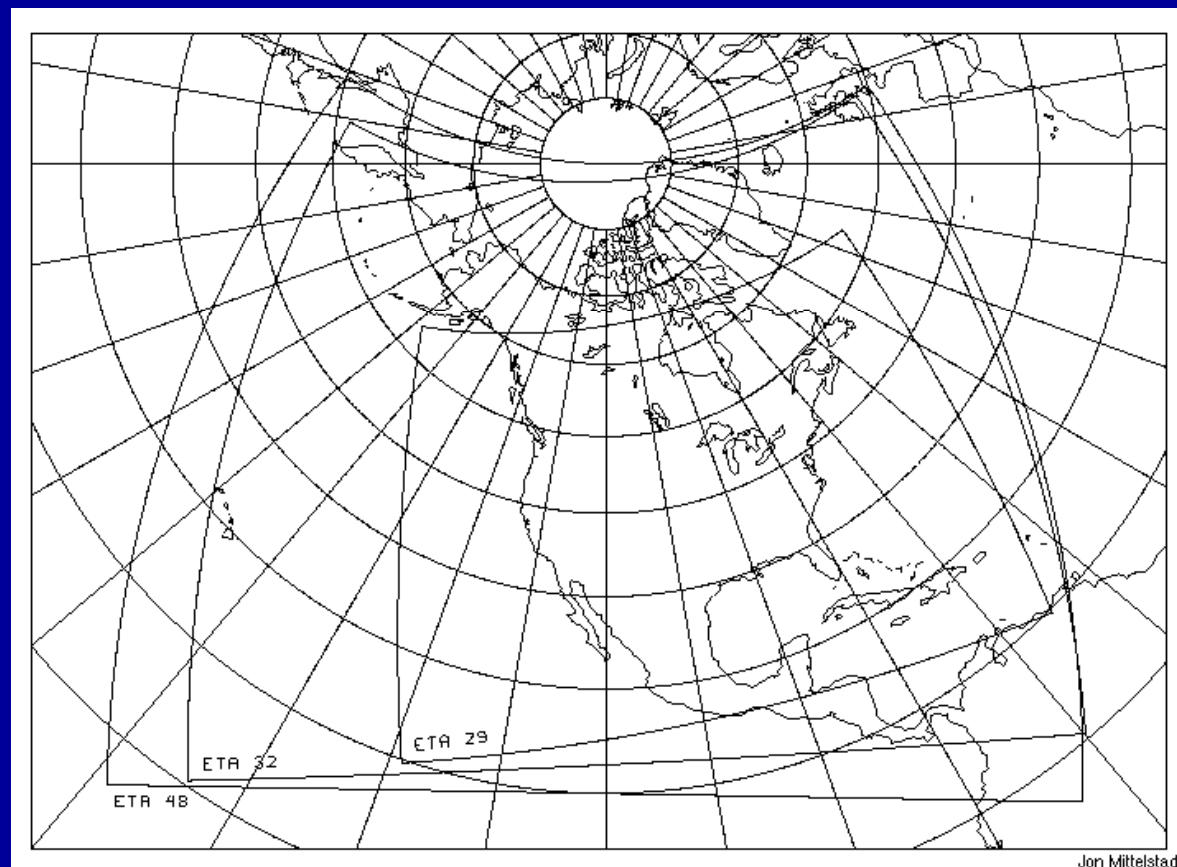
$$\dot{\eta} \frac{\partial p}{\partial \eta} = -\frac{\partial p}{\partial t} - \int_0^\eta \nabla \cdot \left( \mathbf{v} \frac{\partial p}{\partial \eta} \right) d\eta \quad (7)$$

# Оперативная модель ЕТА в НСЕР

- 1993 г. – Eta-48, 80 км, 38 уровней,
- 1995 г. -- Eta-29, 29 км, 50 уровней,
- 1998 г. - Eta-32, 32 км, 45 уровней



# Области интегрирования NCEP ETA



features that I find deserve the most mention are the following:

- The step-mountain (“eta”) vertical coordinate (MESINGER, 1984; see also MESINGER et al., 1988);
- The JANJIC (1984) ARAKAWA horizontal momentum advection scheme, conserving C-grid defined enstrophy for horizontal nondivergent flow on the model’s E-grid, and a number of other quantities;
- Gravity-wave coupling scheme of MESINGER (1973, 1974), used in a two-time level, split-explicit framework;
- Energy conservation in transformations between the kinetic and the potential energy in space differencing (MESINGER, 1984; MESINGER et al., 1988);
- Lateral boundary conditions prescribed or extrapolated along a single outer boundary line, followed by a “buffer” row of points of four-point averaging (MESINGER, 1977). The four-point averaging achieves coupling of the boundary conditions of the two C-subgrids.

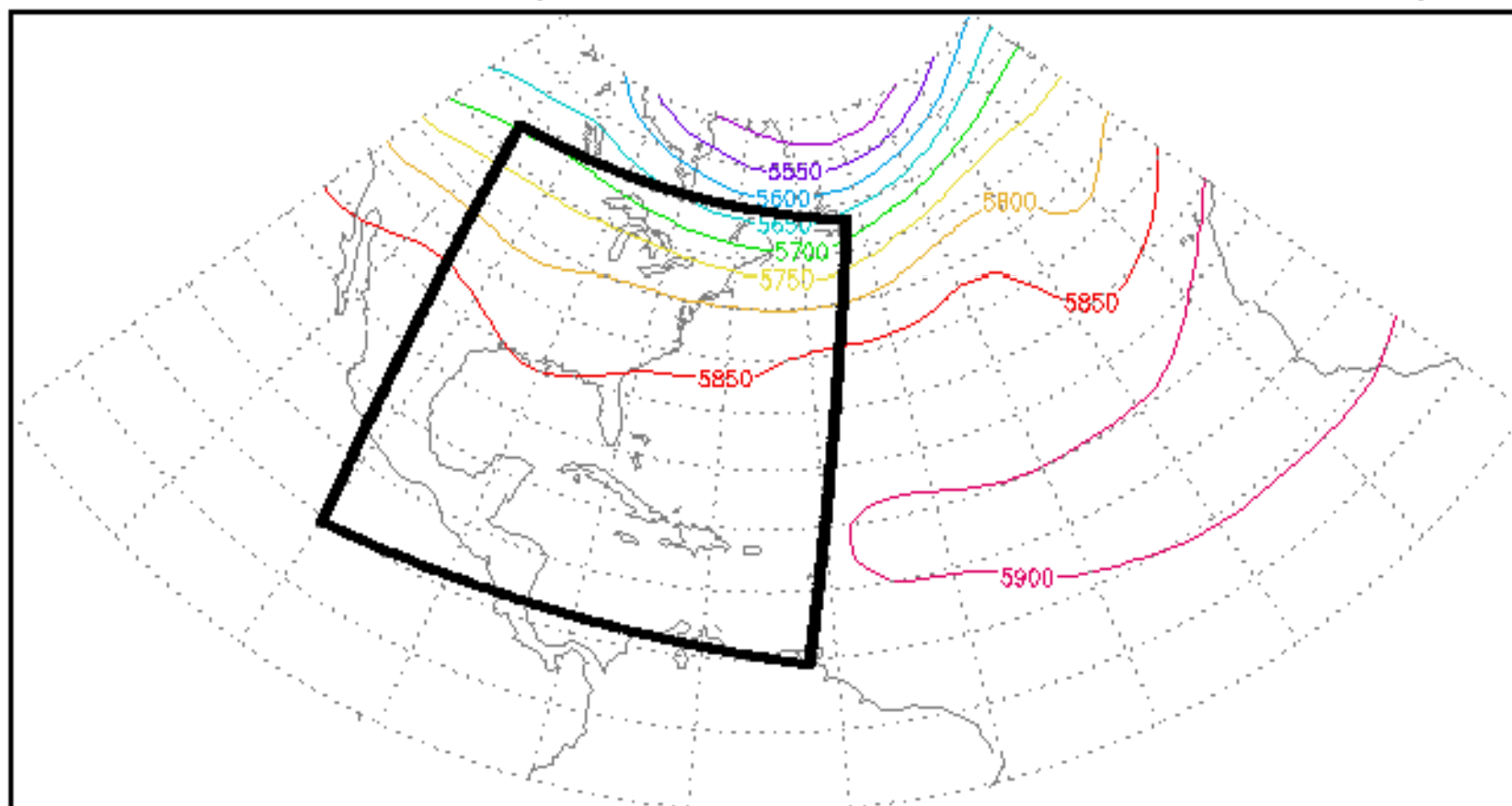
All of these features are aimed at avoiding or reducing some kind of a physical (as opposed to a mathematical) error (e.g., the eta coordinate), and/or at avoiding various computational modes.

# ETA модель

- Прогностические переменные:  $u, v, T, q, TKE$ , водность облаков, приземное давление, влагосодержание и температура в почве (2 слоя), снежный покров.
- Физика: конвекция Беттс-Миллер (Janjic, 1994), крупномасштабная конденсация, радиация (Zhao, Carr, 1996), вертикальная турбулентность - Меллор-Ямада.

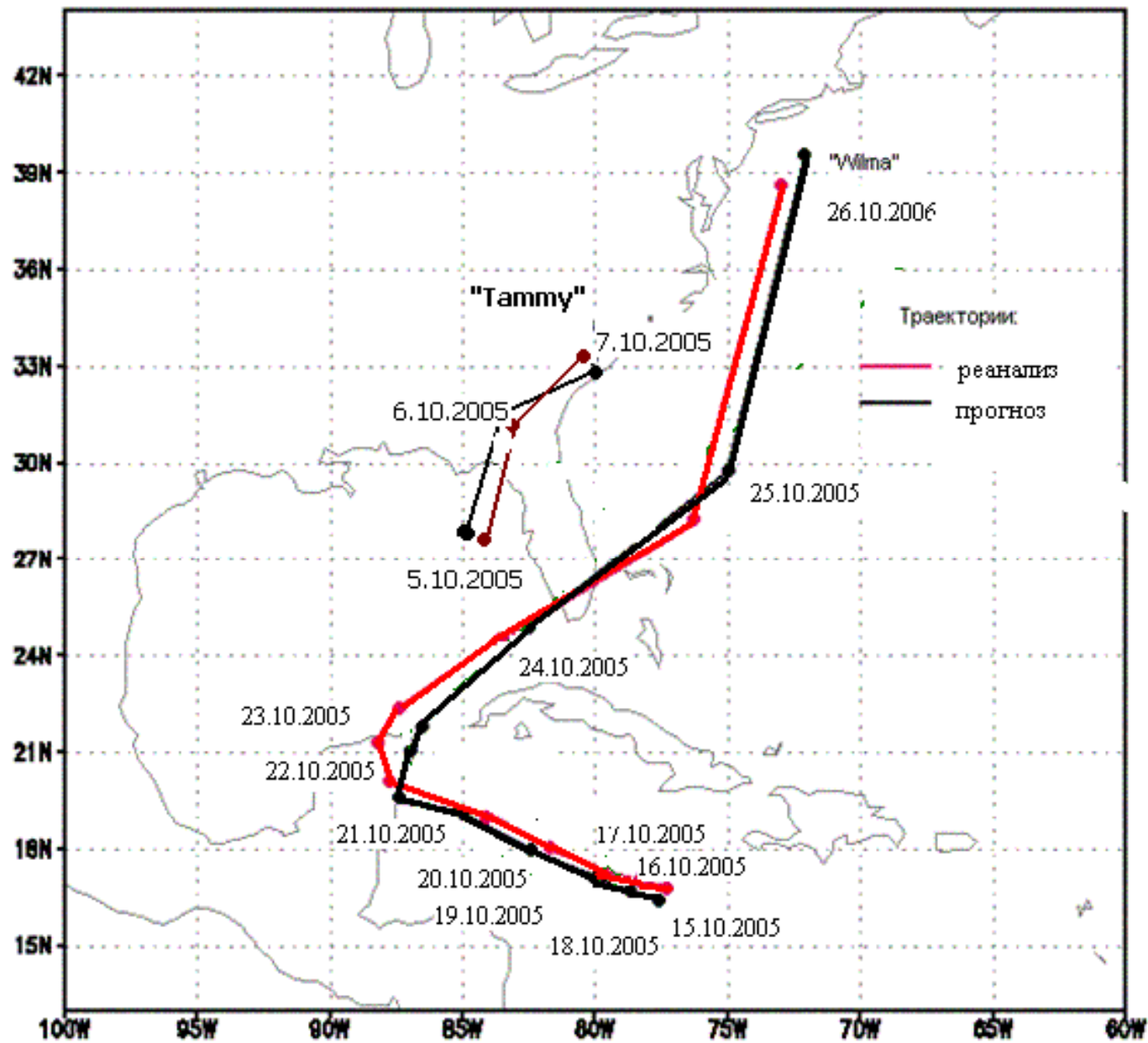
## Выбор области расчета

ETA MODEL GRID (lon=-81 lat=31 wbd=20 sbd=19.7)



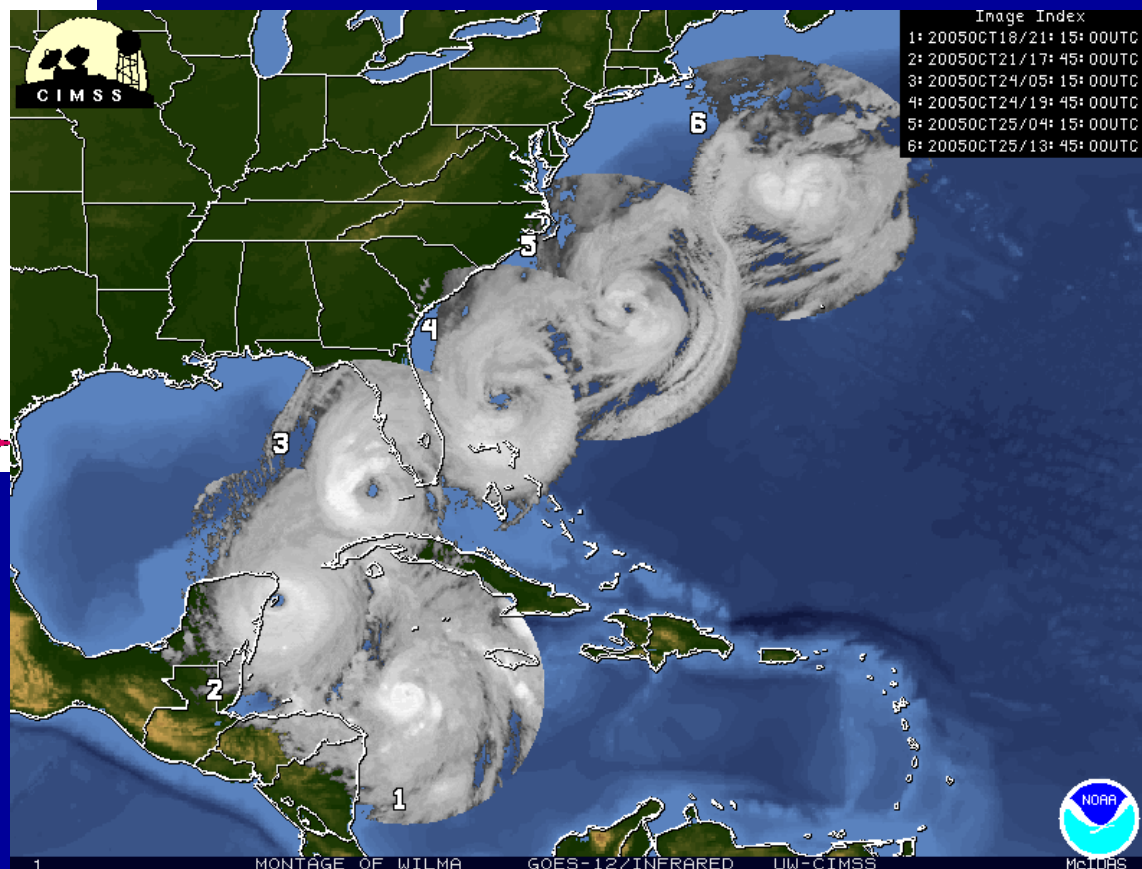
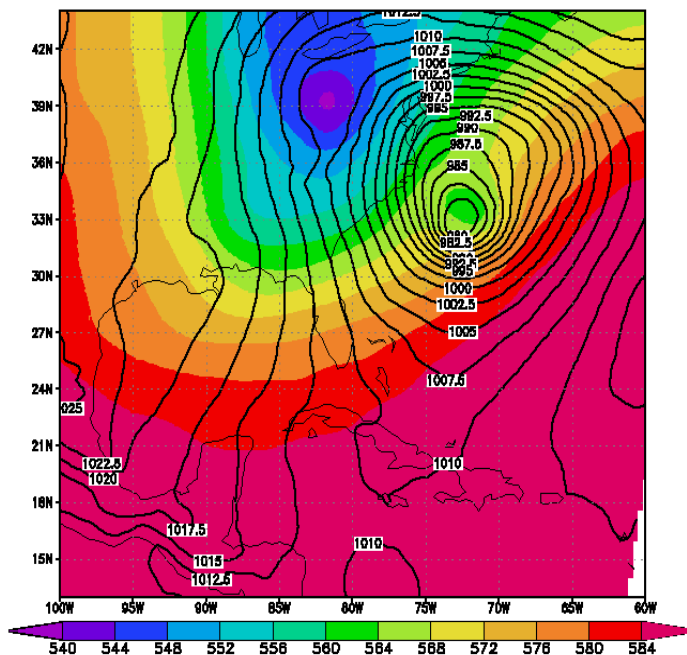
## Актуальные задачи в области изучения тропических циклонов

- Улучшение прогноза траекторий тропических циклонов:
  - выявление участков траекторий, на которых повторяемость ошибок численного прогноза наиболее велика
  - корректировка численного прогноза на основе спутниковой информации и данных наземных и судовых наблюдений
- Изучение пространственной и временной структуры полей турбулентных потоков тепла и энергии в тропических циклонах.



# Траектория урагана "Wilma" по данным спутника GOES-12

H500 05102500 D+06



## Абсолютная ошибка прогноза траектории циклона “Wilma”

Дата	$\Delta(R;O)$ , km	$\Delta(F;O)$ , km	$\Delta(R;F)$ , km
16.10.2005	222	169,07	94,19
17.10.2005	102,34	109,88	59,78
18.10.2005	211,19	177,95	40,02
19.10.2005	84,54	158,93	243,44
20.10.2005	134,12	189,03	70,20
21.10.2005	258,18	183,07	86,69
22.10.2005	200,11	45,77	178,98
23.10.2005	109,32	78,49	150,98
24.10.2005	62,79	228,83	172,32
25.10.2005	222,28	119,55	203,77
Среднее	160,69	146,06	130,04

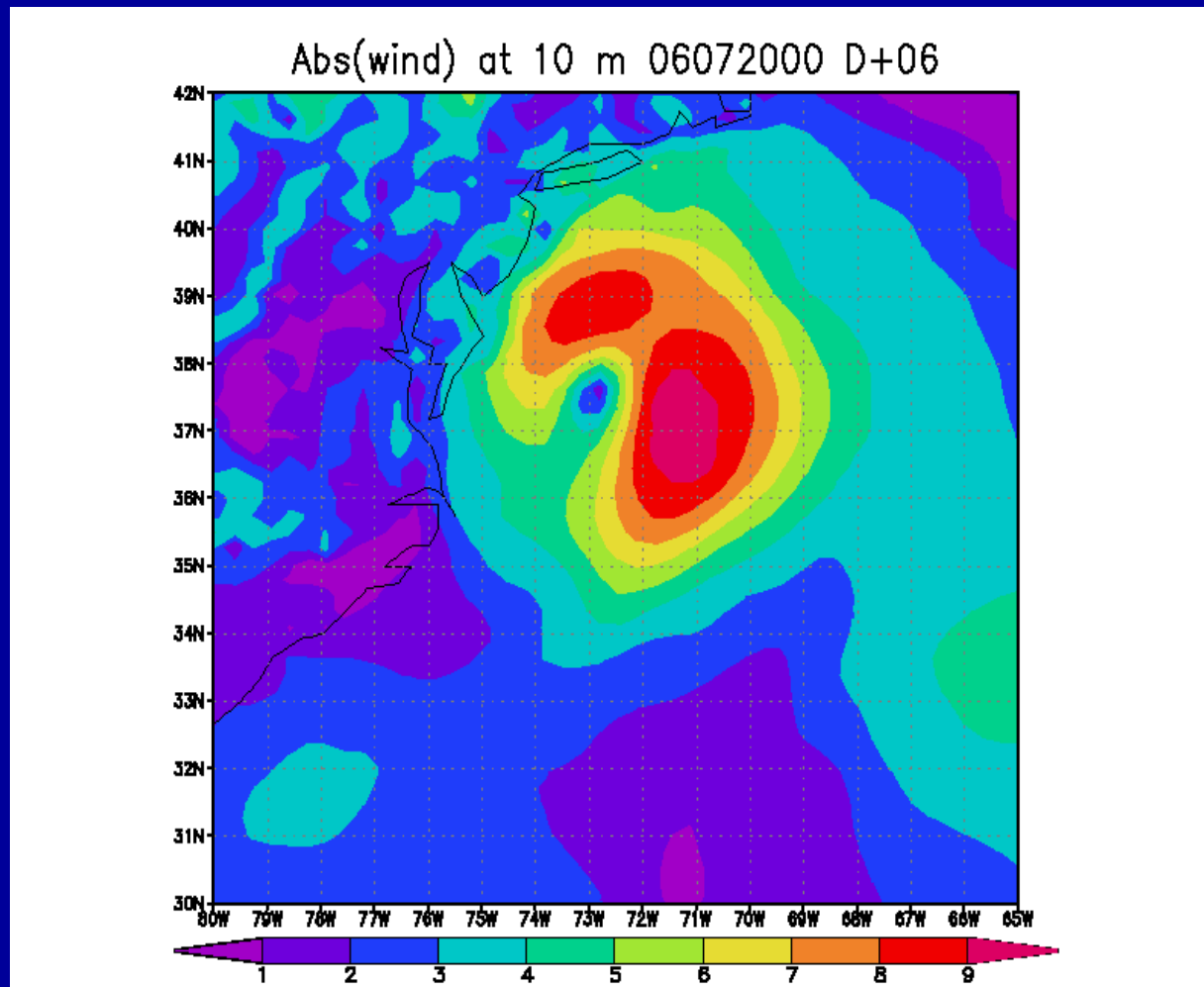


- Самым сложным для модели является прогноз точки и времени перегиба траектории. Расхождения с данными наблюдений могут достигать как минимум 190-200 км. Как правило, поворот циклона происходит одновременно с его выходом на сушу.
- При прохождении вихря над архипелагами или полуостровами происходит замедление его движения из-за возрастания трения.
- Расхождение между прогностической траекторией и реальной резко возрастает при выходе тропического циклона в субтропические широты, где он начинает постепенно трансформироваться во внетропический циклон и ускоряться (до 600 км).
- Прогностическая траектория в целом близка к данным реанализа, однако модель ускоряет вихрь. Прогностическое положение центра циклона начинает опережать положение по данным

# Сравнение реального и прогностического давления в центре ЦИКЛОНА

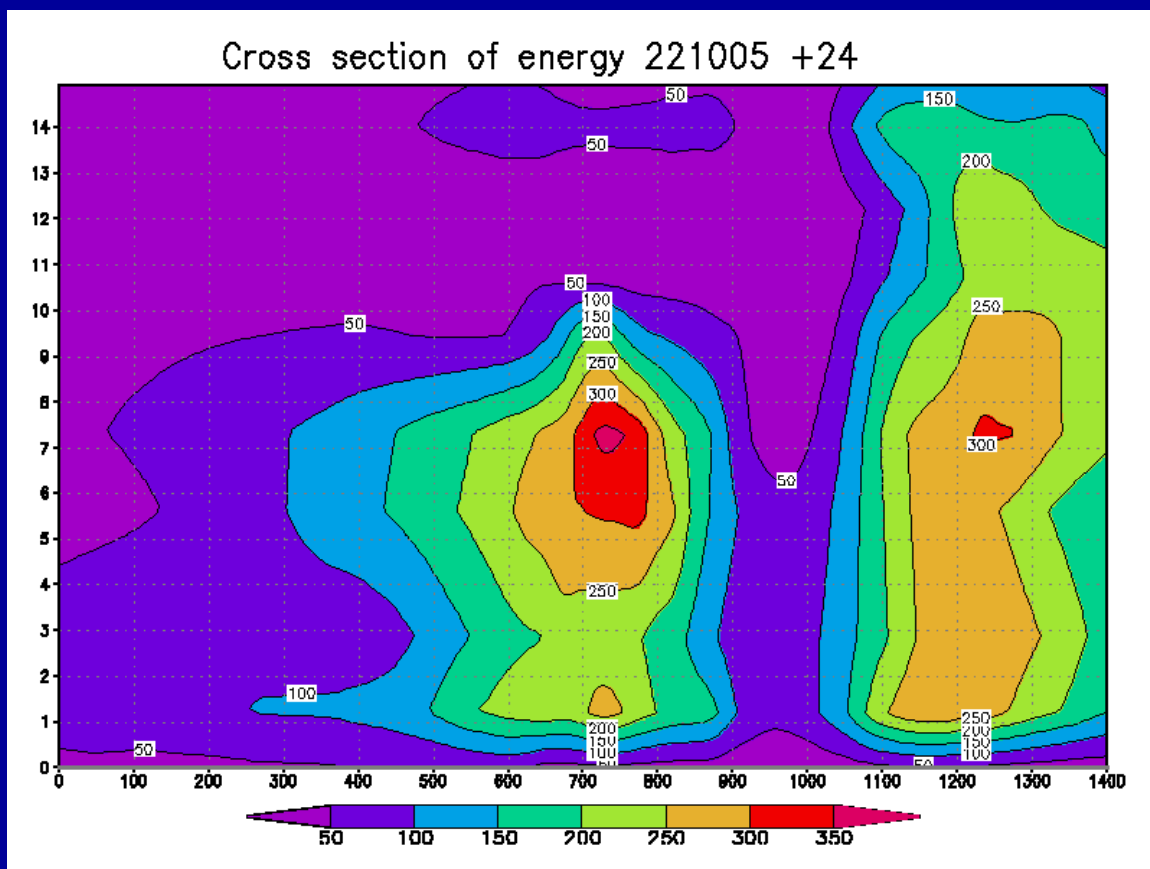
Дата	Срок	Pmod	Preal	$\Delta$
05.10.2005	6	1006	1006	0
	24	1006	1006	0
	30	1004	1002	2
	48	1006	1006	0
16.10.2005	6	1005	1004	1
	12	1005	1003	2
	36	1003	1000	3
20.10.2005	6	893	892	1
	12	896	901	-5
22.10.2005	6	985	930	55
	12	990	935	55

# Горизонтальная структура полей метеорологических величин в тропическом циклоне (на примере циклона “Beryl”)





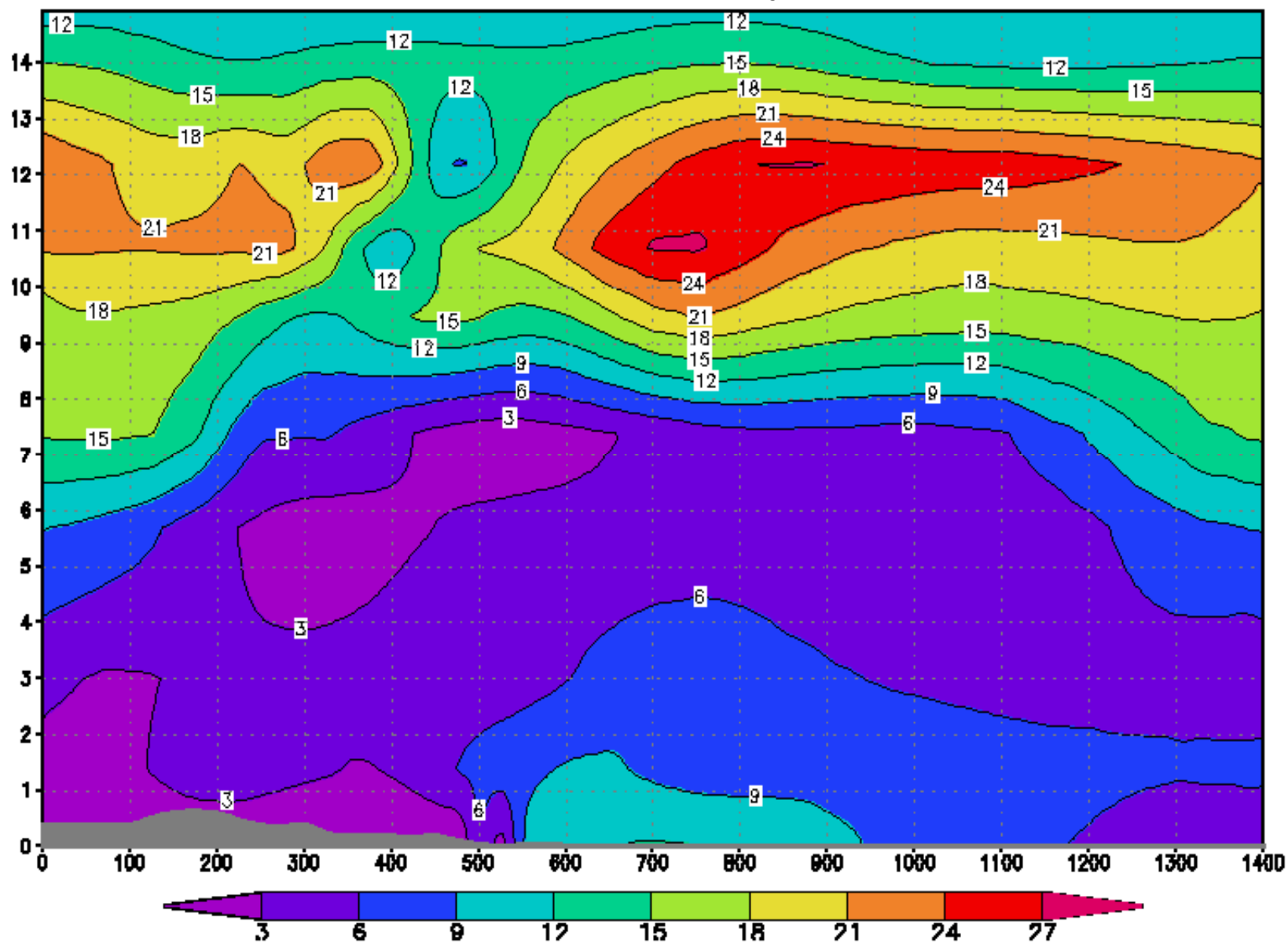
# Изучение вертикальной структуры тропических циклонов



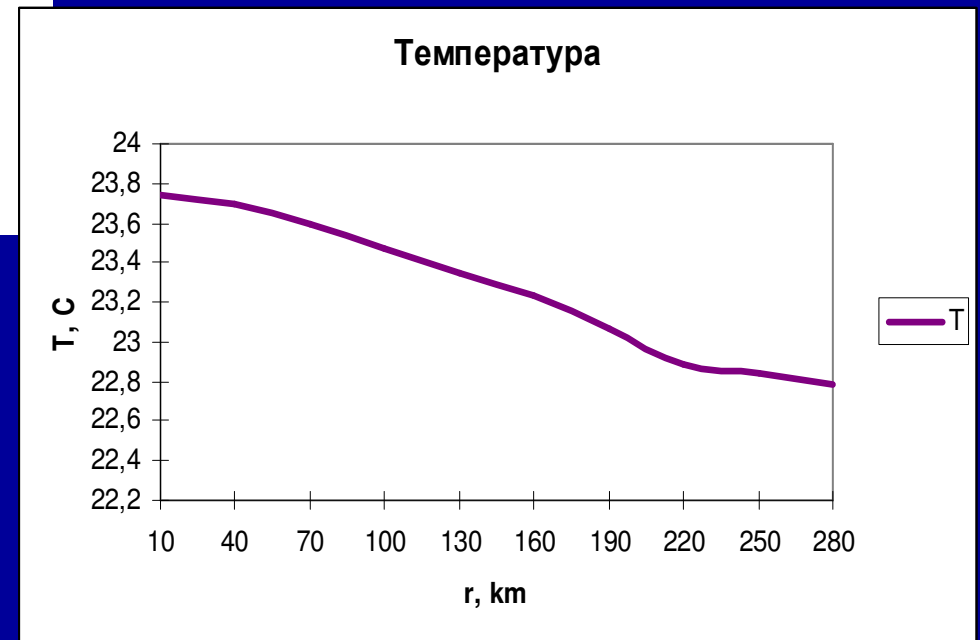
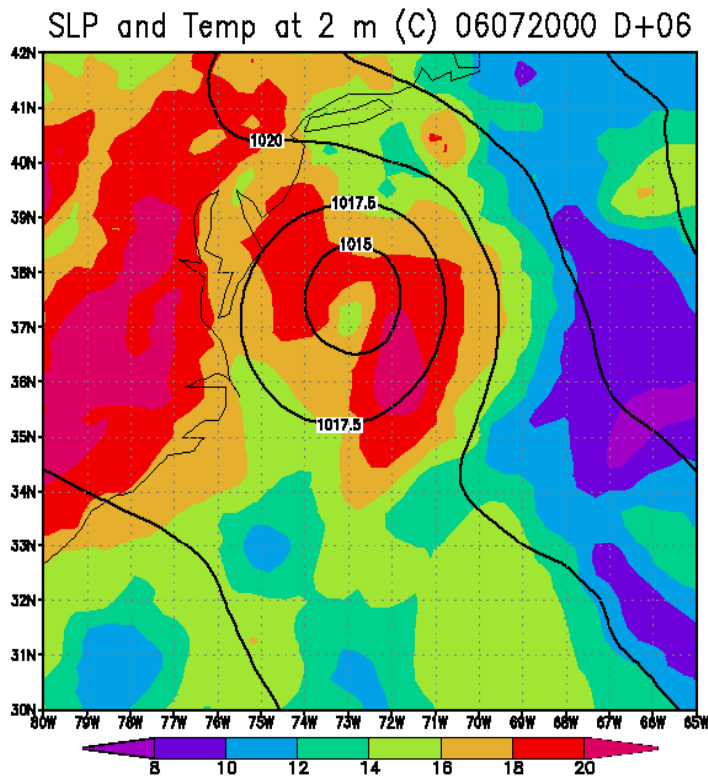
**Вертикальный разрез прогностического поля кинетической энергии 23.10.2005 в 0 часов (по данным за 0 часов 22 октября 2005 года). Разрез проведен от 16° с.ш. 80° в.д. до 23° с.ш. 83° в.д.**



# Cross section of wind speed 06



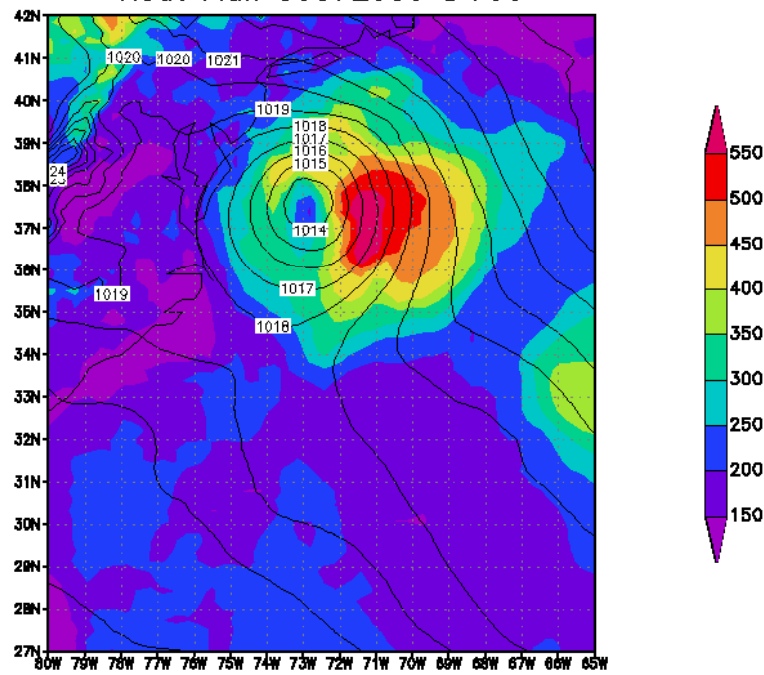
# Горизонтальная термическая неоднородность



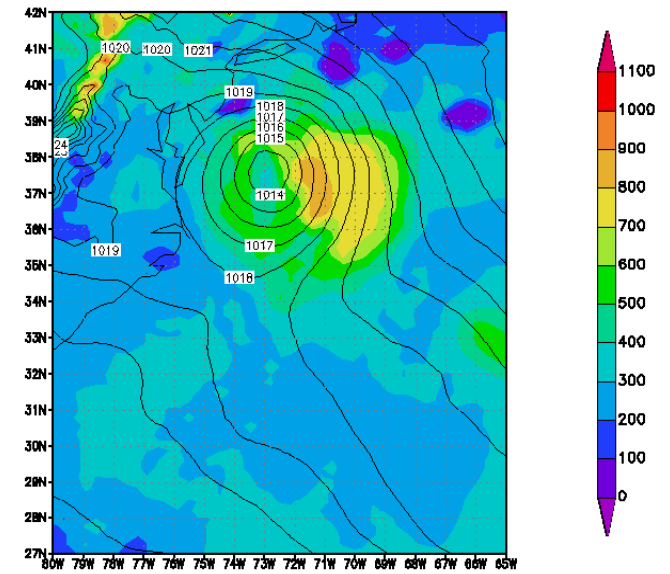


# Турбулентные потоки тепла у поверхности и осадки в тропических циклонах

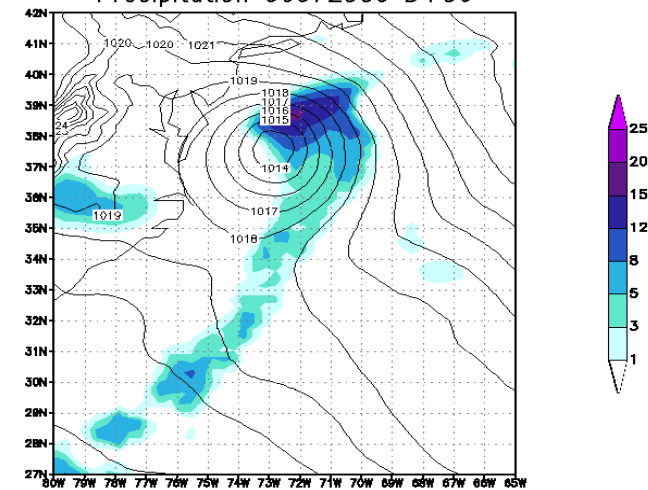
Heat Flux 06072000 D+06



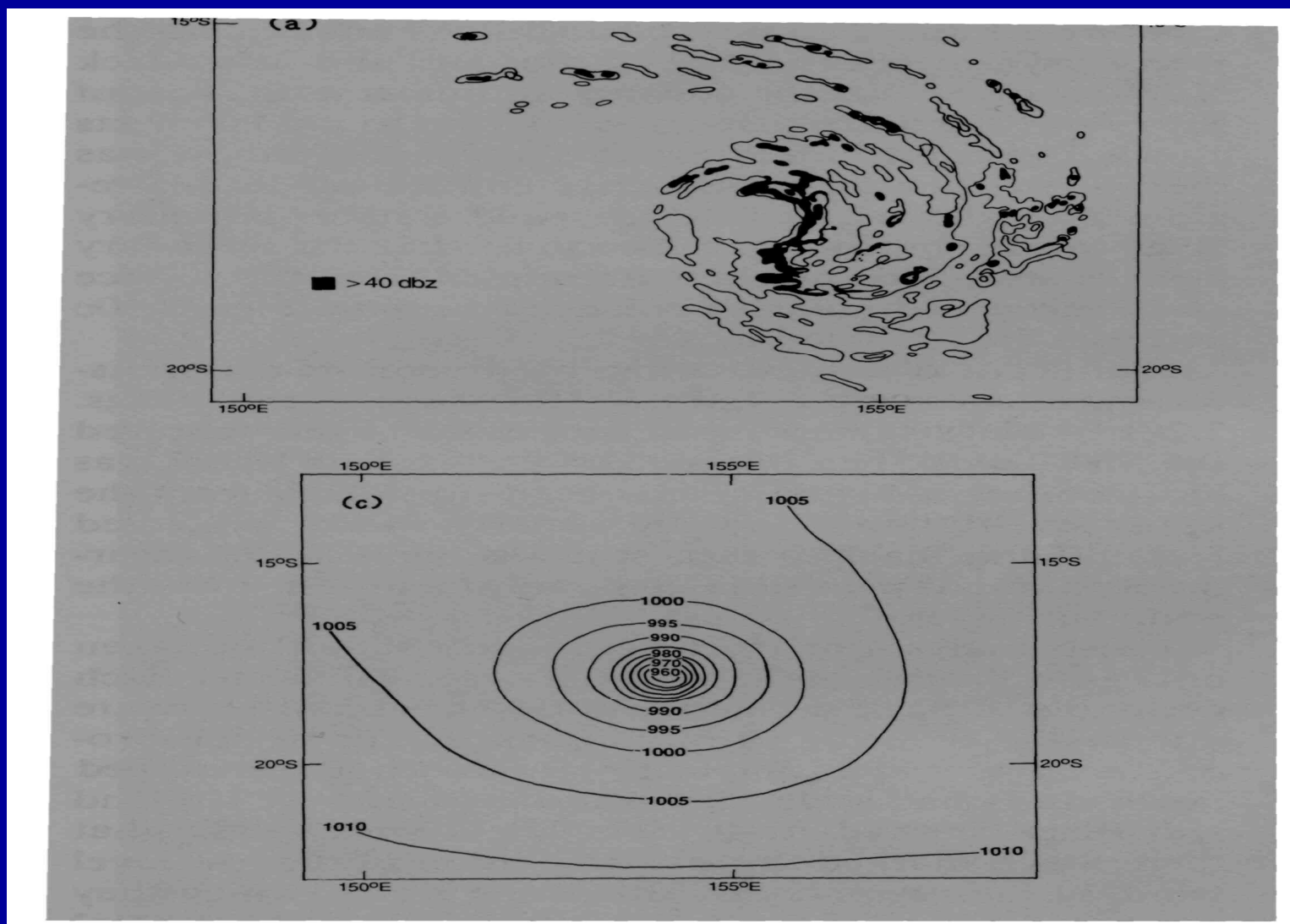
Latent Heat Flux 06072000 D+06



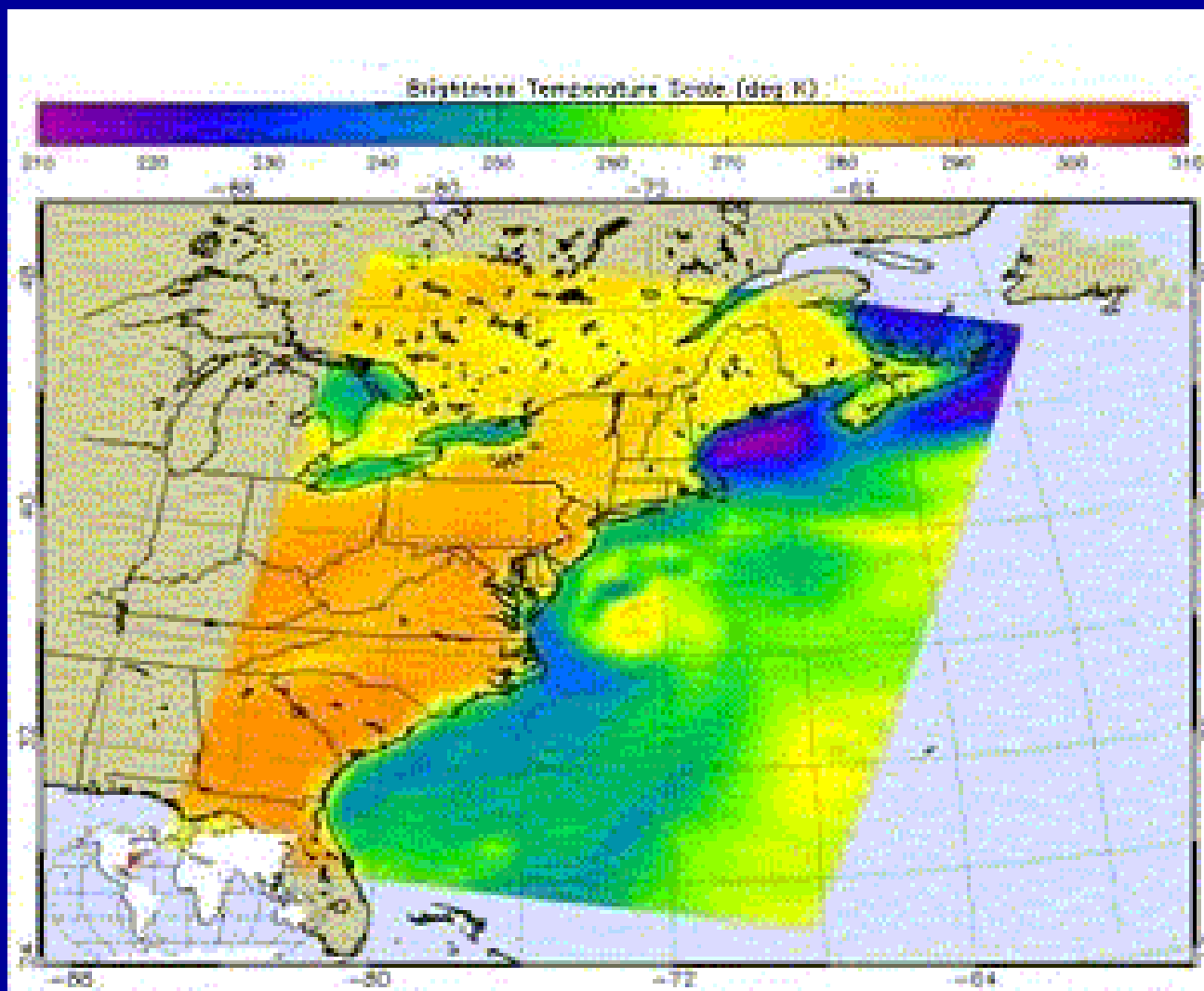
Precipitation 06072000 D+06



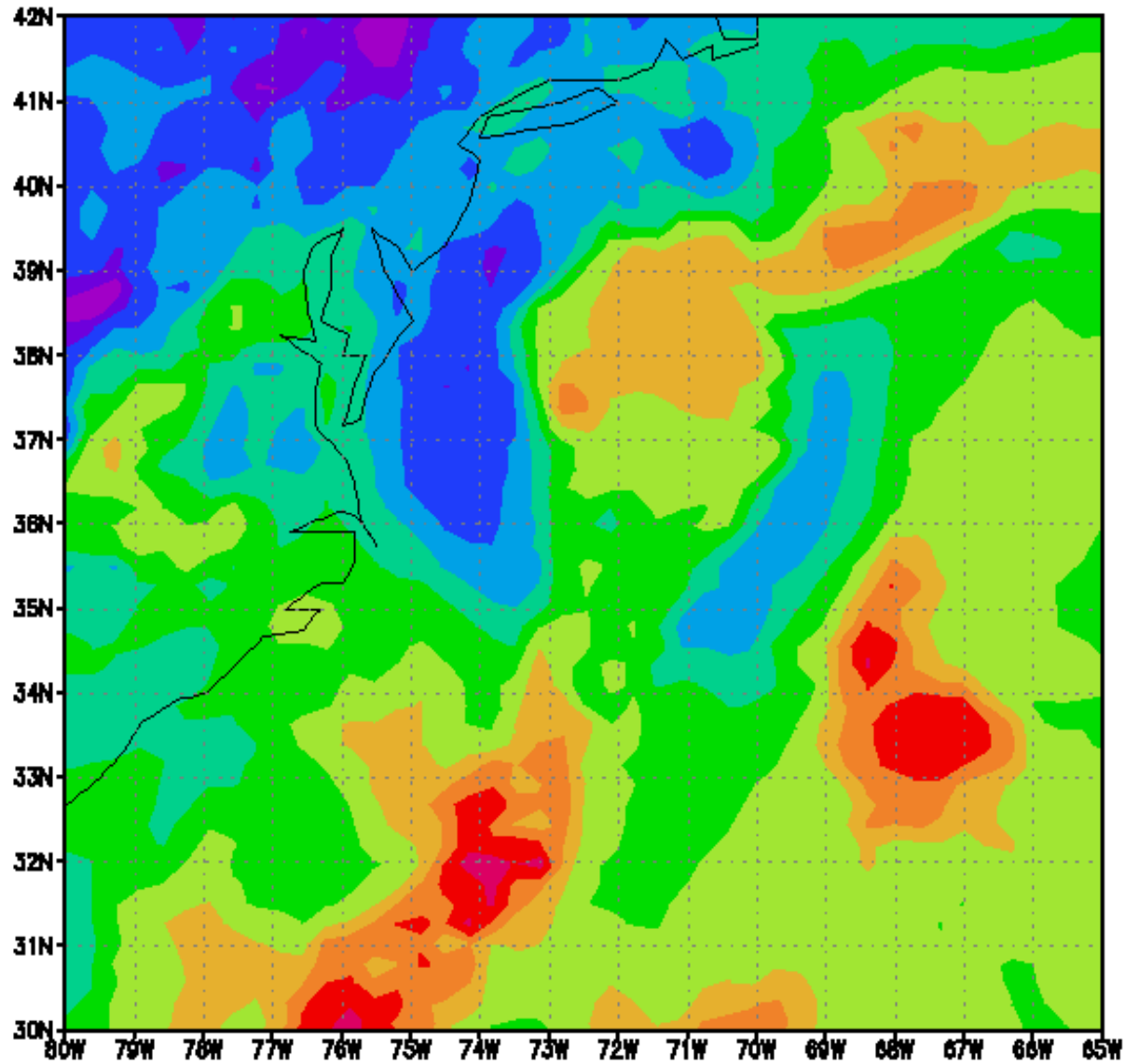
# Данные радарных измерений



# Определение зон волнения океана по полю радиояркостной температуры

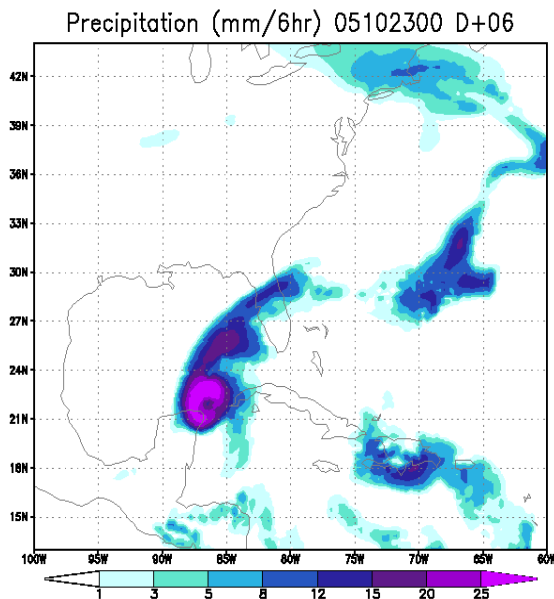
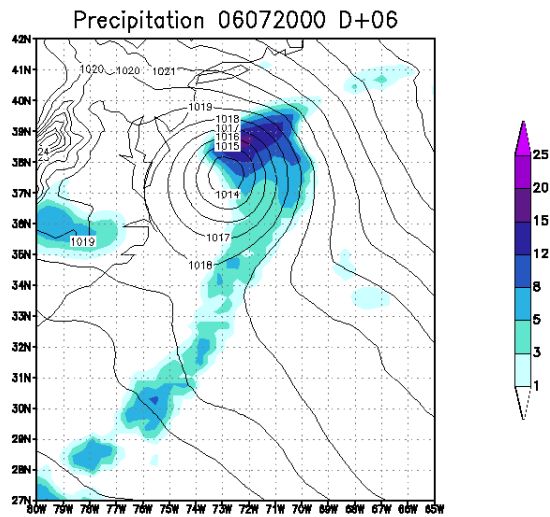


# Radiation Balance 06072000 D+06

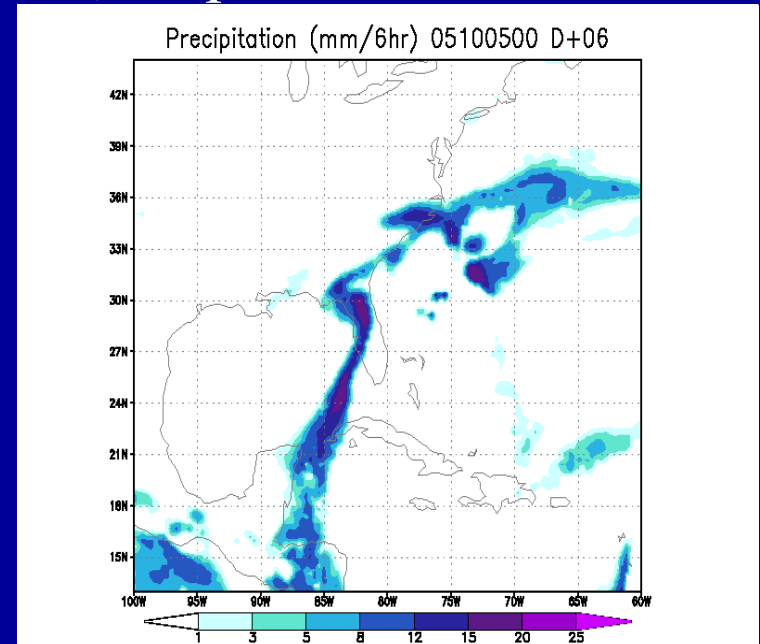


# Поля осадков в ТЦ

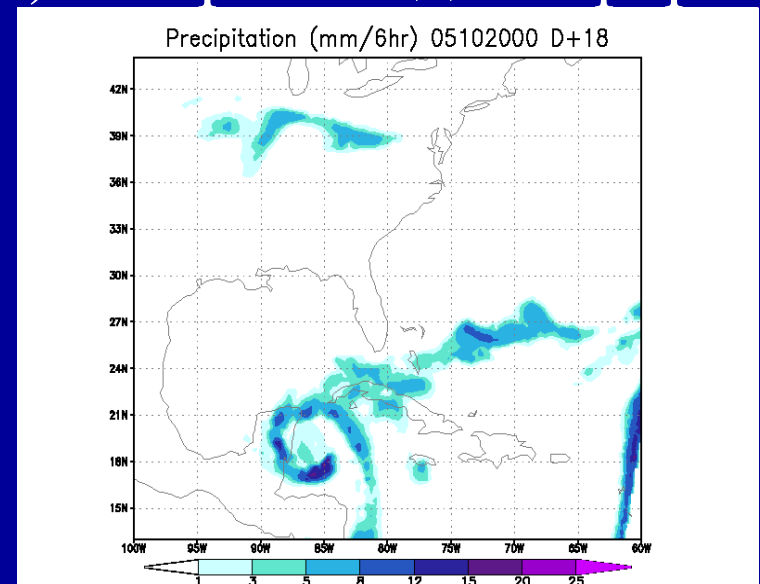
## 1) Конвективный хвост



## 2) Переходный вид



## 3) Спиралевидная форма



## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

- Анализ вертикальной структуры метеорологических полей показал, что вихрь можно считать симметричным лишь в пределах планетарного пограничного слоя, выше 2 км он существенно асимметричен. В ураганах наибольшая кинетическая энергия наблюдается на высоте 7-8 км в правой части вихря.
- Показаны различные структуры полей осадков в тропических циклонах. Максимум осадков выпадает в передней части вихря. Это подтверждается данными радарных измерений.
- Поля потоков явного и скрытого тепла, у поверхности в тропических циклонах асимметричны. Наибольшие значения потоков наблюдаются в правой части возмущения.
- Теплое ядро в тропическом циклоне выявляется только при осреднении значений температуры по радиусам.
- Распределение радиационного баланса в тропическом циклоне хорошо коррелирует с полем облачности.