

# **Автоматический расчет траектории тропических циклонов по данным геостационарного спутника MTSAT-1R**

Алексанин А.И., Еременко А.С.

Институт Автоматики и Процессов Управления ДВО РАН, 690041, Владивосток,  
Радио 5, (4232)3104680, [aleks@iacp.dvo.ru](mailto:aleks@iacp.dvo.ru), [aleks@satellite.dvo.ru](mailto:aleks@satellite.dvo.ru)

## **Организации, проводящие мониторинг в Тихоокеанском регионе в режиме реального времени:**

JMA - Японское Метеорологическое Агентство (RSMC Tokyo - Typhoon Center)

JWTC - Объединенный Тайфунный Центр США.

Типичные рассогласования в оценках центра тропического циклона (ТЦ) 50 - 100 км,  
когда глаз ТЦ отсутствует.

## **Постановка задачи**

- 1. Создать автоматическую процедуру выделения значительных кластеров облачности**
- 2. Создать алгоритм автоматического поиска глаза ТЦ и оценки его размера по изображениям облачности.**
- 3. Исследовать возможности применения ориентаций контрастов яркости для оценки направлений скорости ветра в верхней тропосфере тайфуна**
- 4. Построить аналитическую модель циркуляции ветра в верхней тропосфере для оценки центра ТЦ и параметров циклонической закрутки.**
- 5. Провести апробацию алгоритма автоматического мониторинга ТЦ с расчетом положения его центра и пространственных характеристик**

## Обнаружение «глаза» и оценка его размера на базе t-критерия

Критерий разделимости участков:

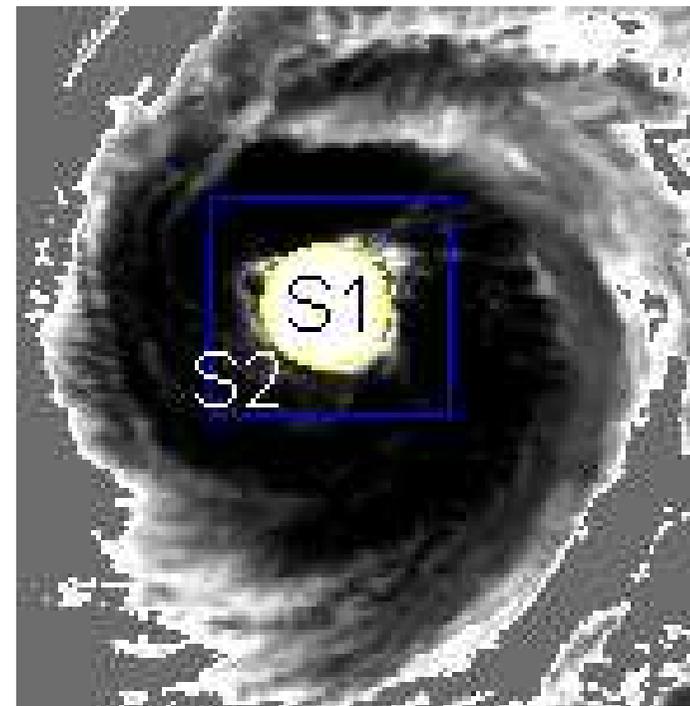
$$u = \sqrt{\frac{m_1 m_2 (m_1 + m_2 - 2)}{m_1 + m_2}} \frac{\bar{s}_1 - \bar{s}_2}{\sqrt{m_1 \hat{\sigma}_1^2 + m_2 \hat{\sigma}_2^2}}$$

$S1$  и  $S2$  – две выборки с объёмами  $m1$  и  $m2$

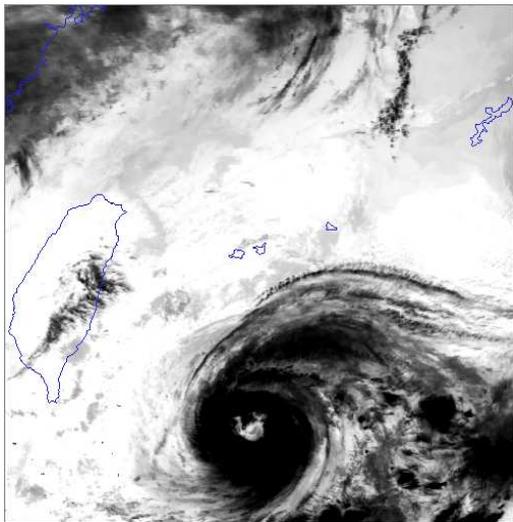
$\sigma_1^2$  и  $\sigma_2^2$  - оценки дисперсий, полученные по выборкам  $S1$  и  $S2$

При  $u > u_{st}$  окно  $S1$  обнаружителя расположено в области «глаза» тайфуна, а окно  $S2$  в районе низкотемпературной облачности тайфуна. Где  $u_{st}$  – заданное значение порога.

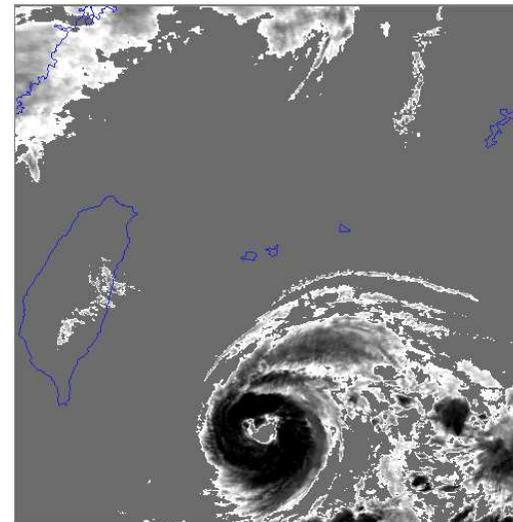
Из 85 снимков, где «глаз» был выделен, 83 верных выделения и 2 – ложных выделения.



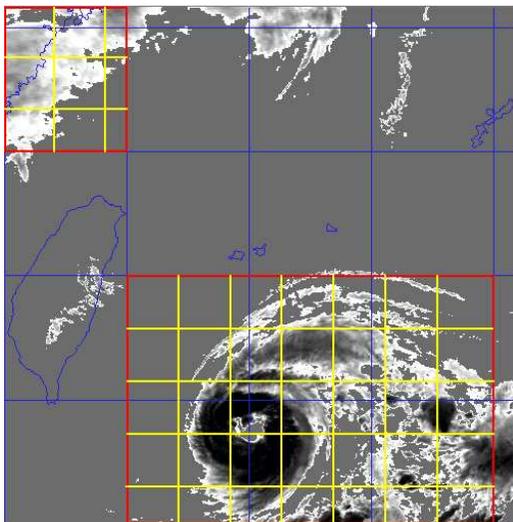
## Последовательность поиска «глаза»



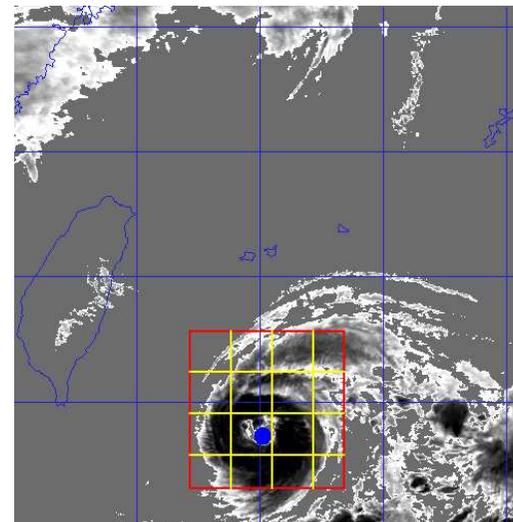
**Изображение на входе**



**Обработка по порогу температур**



**Выделение участков  
облачности**



**Расчет глаза по критерию**

# Расчет доминантных ориентаций контрастов яркости

## Поле яркости

$$\{ I_{ij} \}, ij \in a \times a$$



## Поле градиентов яркости

$$\{ G_{ij} e^{i\varphi_{ij}} \}, \varphi_{ij} \in [-\pi, +\pi]$$

$$G_x = \left\{ \sum_{d=-a/2}^{a/2} [I_{i+a/2, j+d} - I_{i-a/2, j+d}] \right\} / a$$

$$G_y = \left\{ \sum_{d=-a/2}^{a/2} [I_{i+d, j-a/2} - I_{i+d, j+a/2}] \right\} / a$$



## Поле ориентаций контрастов

$$\{ K_{ij} e^{i\theta_{ij}} \},$$

$$\theta_{ij} = \varphi_{ij} - \pi/2 :$$

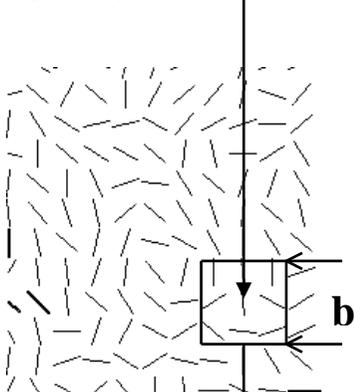
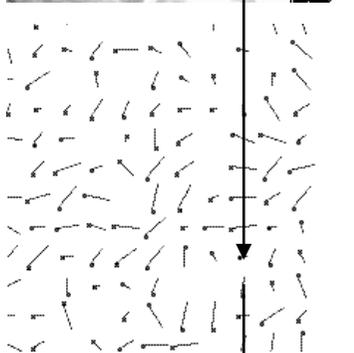
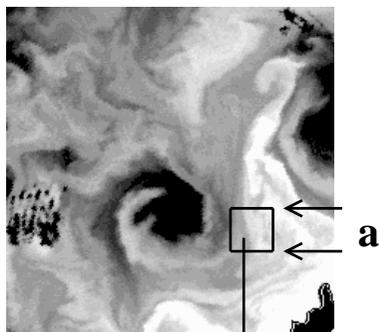
$$\theta_{ij} \in [0, +\pi]$$



## Поле доминантных ориентаций контрастов

$$\Theta = f(\theta_{ij}) :$$

$$(ij) \in [b \times b]$$



Направление яркостного контраста  $\theta_{ij}$  - направление, ортогональное образу вектора яркостного градиента

$$\nabla u_{ij} = G e^{-i\varphi}$$

**Оценка доминантной ориентации термического контраста (ДОТК)**

$$\theta_{mn}^* : \sum \Delta \theta_{ij} \rightarrow \min,$$

$$\Delta \theta_{ij} = W(\theta_{ij}) \cdot \min \{ |\theta_{ij} - \theta_{mn}^*|, |\theta_{ij} - \theta_{mn}^* - \pi| \},$$

где  $W(\theta_{ij})$  - весовой коэффициент.

**Для оценки статистической значимости ДОТК**

используется неравенство Маркова ( $\varepsilon$  - допустимая мера разброса).

$$P^* : P\{\Delta \theta_{ij} < \varepsilon\} > 1 - (M \Delta \theta_{ij}) / \varepsilon$$

Из требования удовлетворения точности  $\varepsilon$  с вероятностью  $P^*$

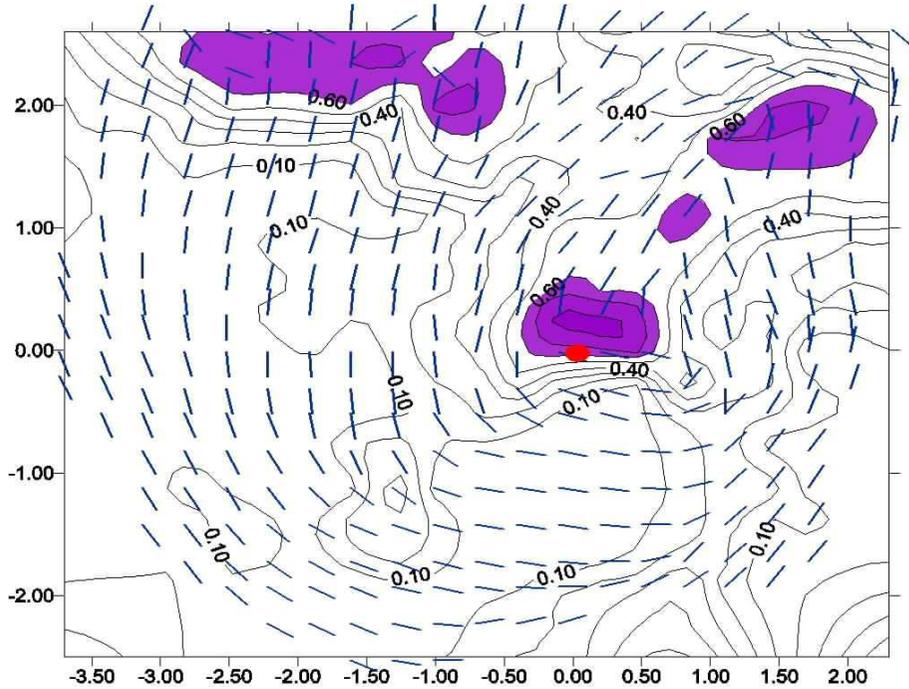
$$P\{\Delta \theta_{ij} < \varepsilon\} > P^*$$

**получаем условие выделения ДОТК**

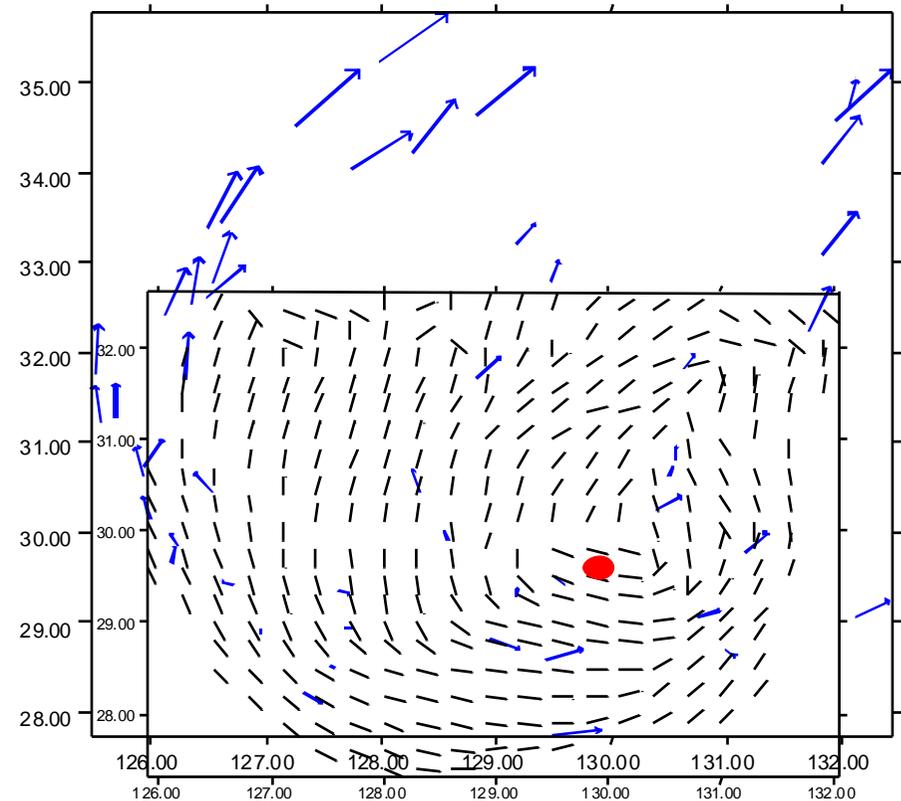
$$M \Delta \theta_{ij} < (1 - P^*) \times \varepsilon,$$

где  $M \Delta \theta_{ij} = (\sum \Delta \theta_{ij}) / \sum W(\theta_{ij})$ .

# Сравнение ДОТК с направлениями ветра ТЦ



**Анализ временной устойчивости ДОТК .  
Изолинии изменчивости ориентаций контрастов  
за 14.09.97 в радианах. Красная точка - центр ТЦ**



**Аэрологические измерения скорости  
ветра и ДОТК**

**Сравнение структур с аэрологическими скоростями:**

**средняя корреляция скоростей и структур и среднее рассогласование:**

**$\rho = 0.78$ ,  $\varphi = 0.61$  рад.**

**Сравнения структур со скоростями, рассчитанными по последовательности  
спутниковых изображений:**

**$\rho = 0.84$ ,  $\varphi = 0.46$  рад**

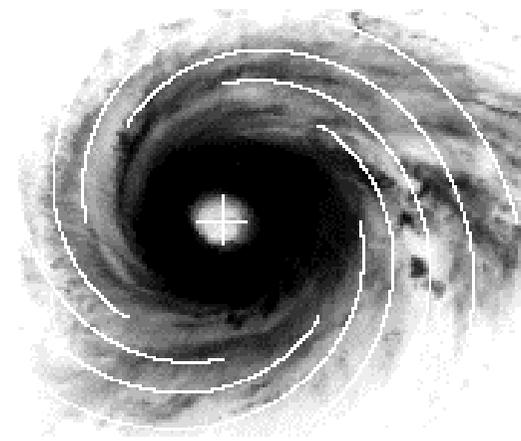
## Расчет параметров ТЦ по ДОТК



Изображение тайфуна



Карта доминант



Подобранный радиус и спираль

**Цель** – найти начальное приближение центра тайфуна и подобрать облачную спираль вихря.

### Метод:

1. Начальное приближение центра тайфуна
2. Определение радиуса круговой циркуляции
3. Подбор спиральной закрутки тайфуна

Критерий качества – рассогласование доминант с моделью облачной спирали:

$$\rho_c = \frac{1}{N} \sum \min(|\Theta t - \Theta d|, \pi - |\Theta t - \Theta d|)$$

где  $C$  – величина радиуса круга;  $N$  – количество точек;  $\Theta t$  и  $\Theta d$  – значения углов модели и ДОТК

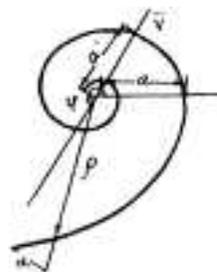
# Модель циркуляции ТЦ

Круговая модель:

$$\Theta t = \arctg(x - x_0 / y - y_0) \quad , \text{ где } (x_0, y_0) - \text{ координаты центра, } (x, y) - \text{ координаты точки}$$

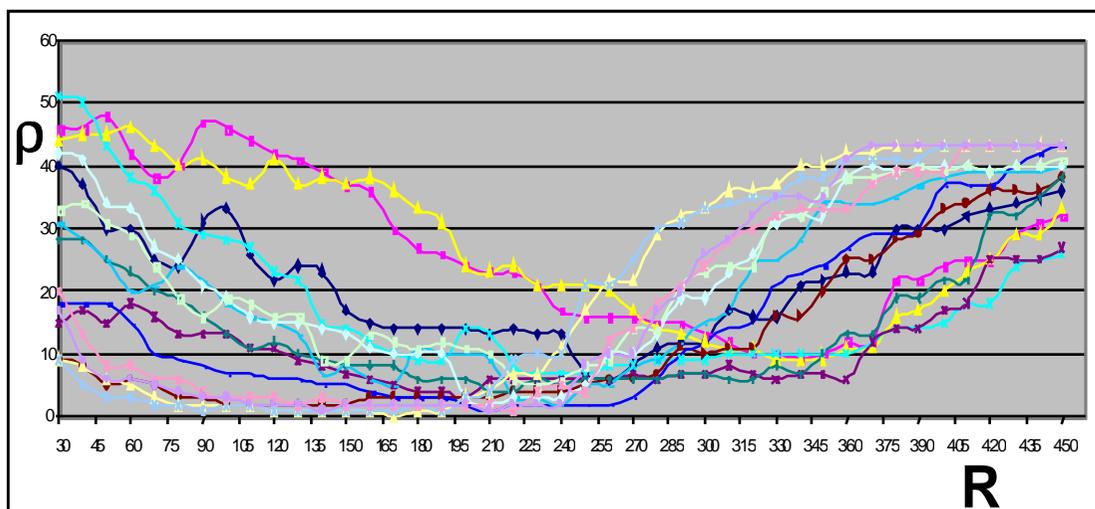
Модель циклонической закрутки:

$$\begin{aligned} x &= a \cdot e^{\rho} \cdot (\varphi - b) \cdot \cos(\varphi) \\ y &= a \cdot e^{\rho} \cdot (\varphi - b) \cdot \sin(\varphi) \end{aligned} \quad \Theta t - \text{ угол касательной}$$

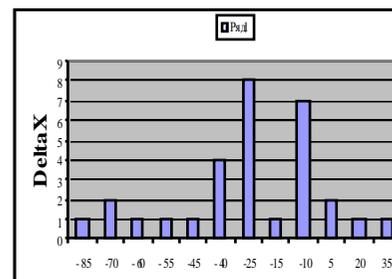


Изменчивость критерия круговой модели с ростом радиуса  $R$ .

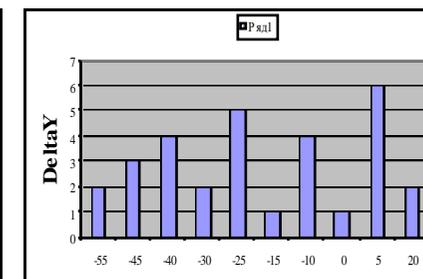
Каждому изображению ТЦ соответствует свой цвет. Тайфун есть, если  $\min \rho < 20^\circ$ .  $R$  найден, если  $\rho_R < 2 \min \rho$



Систематические ошибки расчета положения глаза по круговой модели



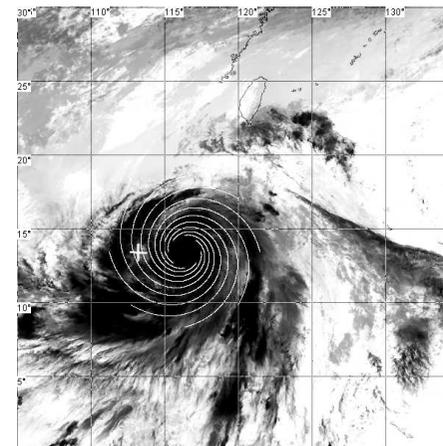
$\Delta X \sim -30 \text{ km}$



$\Delta Y \sim -20 \text{ km}$

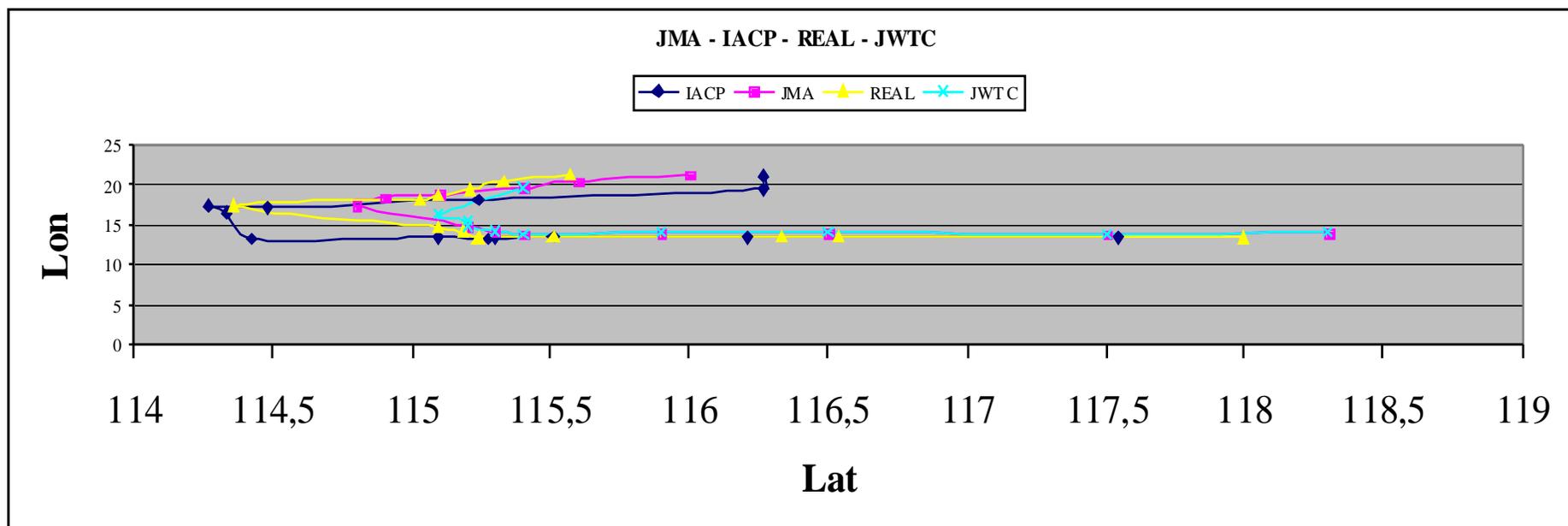
## Результаты

В экспериментах использовались 155 изображений различных ТЦ за 2001-2003 гг со спутника GMS-5



1. Оценка центра ТЦ по положению глаза. 85 раз центр глаз выделялся, из них 2 раза ложно. Пропущено около 10 случаев наличия глаза мелкого размера.
2. По круговой модели все ТЦ выделились правильно и не было ложных выделений.

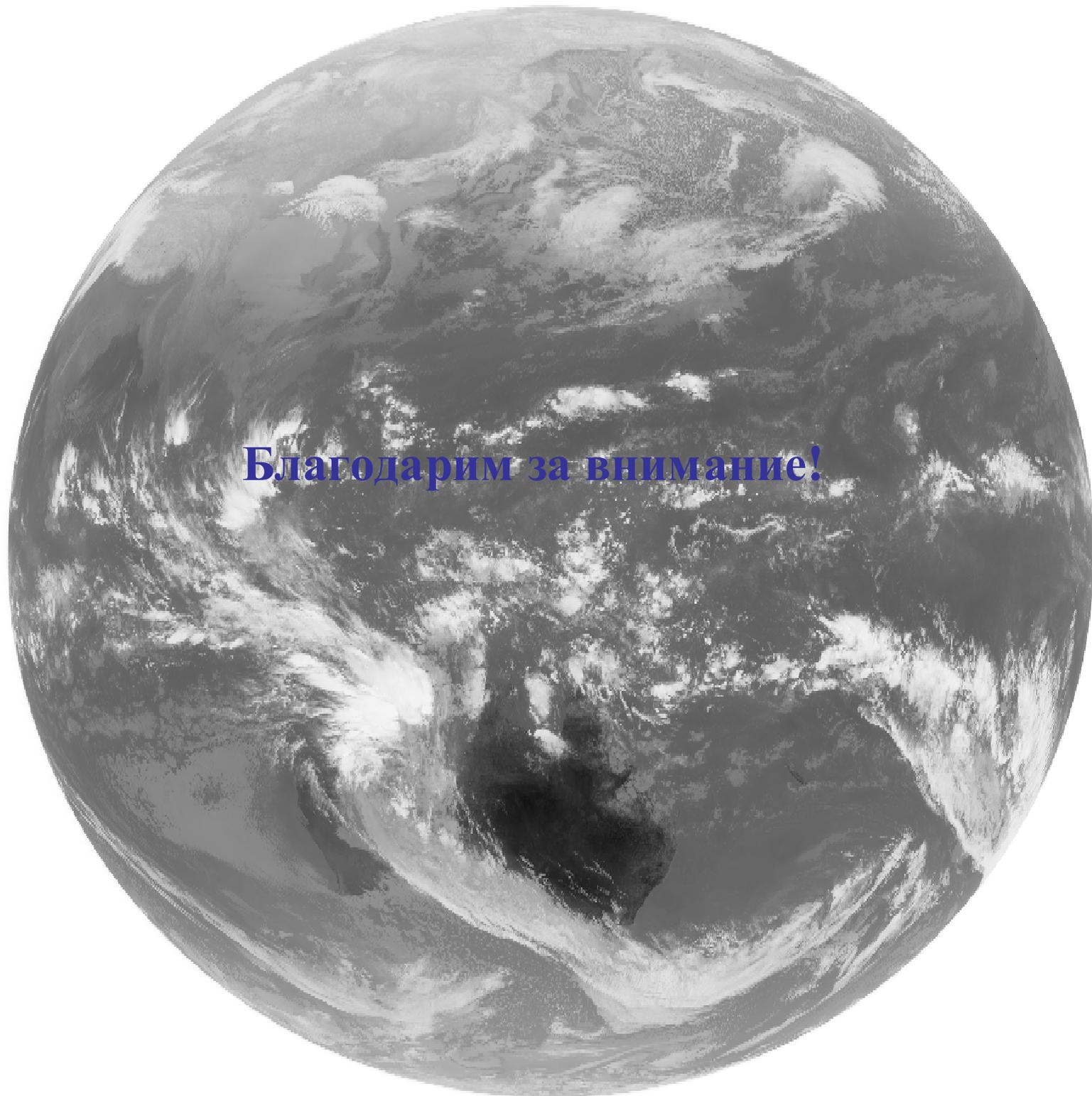
Пример неправильного расчета положения глаза, что контролируется оценкой центра по круговой модели. Спутник MTSAT-1R, тайфун CHANCHU



Траектории тайфуна CHANCHU, построенные автоматически, вручную, JMA и JWTC. Тайфун имел либо маленький размер глаза, либо не имел его вовсе.

## **Выводы**

- 1. Доминантные ориентации термических контрастов (ДОТК) позволяют рассчитывать характеристики структуры облачности тропических циклонов. В развитом ТЦ наблюдается временная устойчивость ДОТК, за исключением центральной зоны.**
- 2. Автоматический алгоритм, созданный на основе анализа поля ДОТК, позволяет рассчитывать по простейшим моделям такие характеристики ТЦ, как положение центра, размер глаза, размер круговой зоны, величину спиральной закрутки.**
- 3. Наблюдается несимметричность расположения глаза относительно центра круговой циркуляции. Глаз сдвинут на юго-восток.**
- 4. Предложенная первая версия алгоритма демонстрирует надежность автоматического расчета траектории ТЦ и дает удовлетворительные результаты.**



**Благодарим за внимание!**

## **Выводы**

**Для сопоставления американских и японских оценок максимальной скорости ветра в тайфуне рекомендуется использовать коэффициент пропорциональности 1,3.**

**Не наблюдается ярко выраженного изменения параметров тайфуна с изменением широты, обусловленного ростом параметра Кориолиса.**

**Наблюдается рост радиуса ветров R30 и угловой скорости  $W_a$ , а так же падение радиуса максимальных ветров  $R_{max}$  с ростом мощности для «слабых» ТЦ.**

**Показатель  $\alpha$  степенного убывания скорости ветра от центра циклона к периферии увеличивается с ростом  $V_{max}$ , а после отметки в 100 узлов стабилизируется на значении  $\approx 0,63$ . Среднее значение  $R_{max}$  составляет примерно 40 миль для ТЦ с  $V_{max} > 60$  узлов. Наблюдается качественное соответствие изменчивости параметра  $\alpha$  при росте мощности и отсутствует подобное соответствие для  $R_{max}$  при сравнении с прямыми измерениями.**

**Радиусы ветров R30 и R50 на стадии убывания мощности тайфуна превышают радиусы ветров на стадии возрастания.**

**Значения степени убывания скорости ветра от центра тайфуна к периферии  $\alpha$  на стадии возрастания мощности тайфуна слабо отличаются от значений  $\alpha$  на стадии убывания.**

**Существует два типа тайфунов. Структура ТЦ с максимальной скоростью  $V_{max} > 100$  узлов (150 по данным JWTC) отличаются от структуры ТЦ с меньшей максимальной скоростью.**