



АВТОМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СПИРАЛЬНОЙ ЗАКРУТКИ ТРОПИЧЕСКОГО ЦИКЛОНА ПО СПУТНИКОВЫМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЕГО ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Алексанин А.И., Ерёменко А.С. *Институт
автоматики и процессов управления ДВО РАН690041,
г. Владивосток, ул. Радио, 5*
E-mail:aleks@iacp.dvo.ru
Тел.: 8(4232)310468



ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

- **Создание методики автоматического расчёта спиральной закрутки тропического циклона**
- **Оценка возможности расчёта ключевых параметров тропического циклона (трения и максимального ветра) на основе карт структуры облачности**





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

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

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

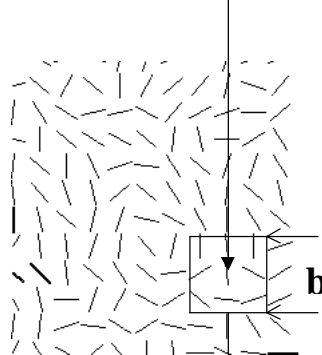
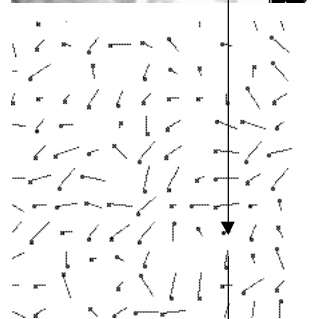
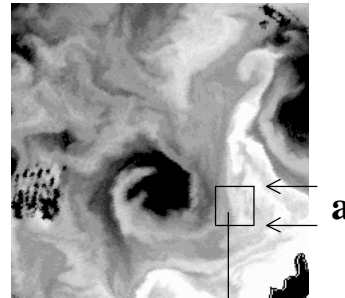
$$\theta_{ij} \in [0, +\pi]$$



Поле доминантных ориентаций контрастов

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

$$(i, j) \in [b \times b]$$



Направление яркостного контраста θ_{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 (ε - допустимая мера разброса).

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

Из требования удовлетворения точности ε с вероятностью P^*

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

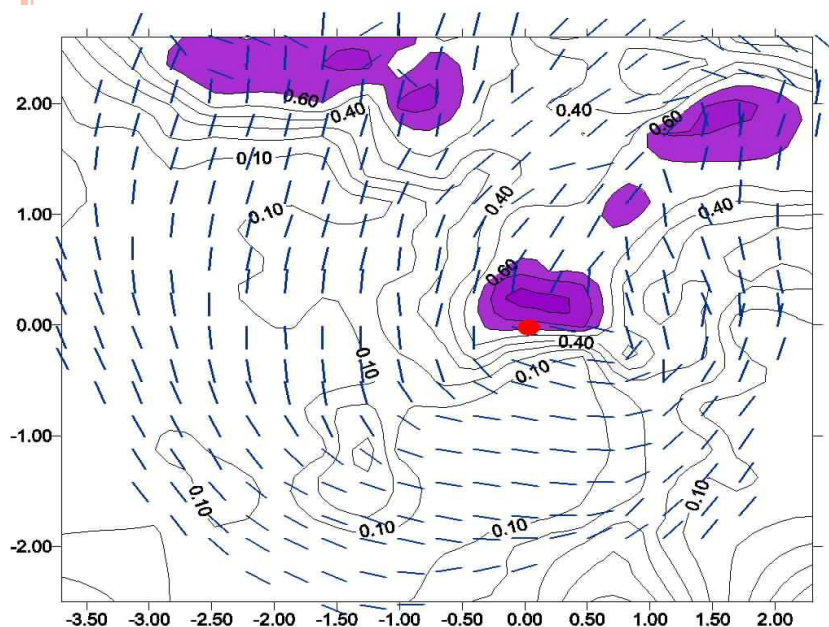
получаем условие выделения ДОТК

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

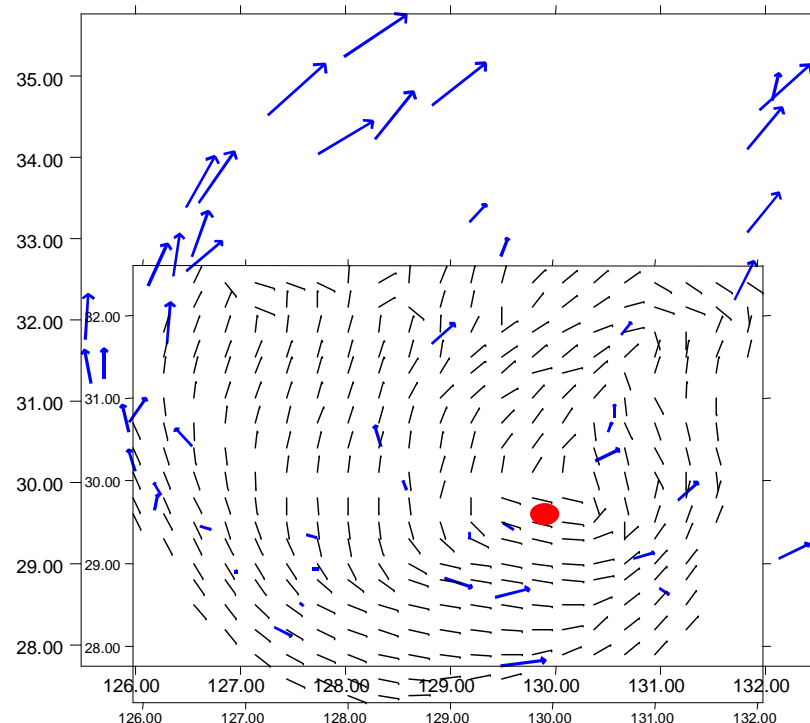
$$\text{где } M \Delta \theta_{ij} = (\sum \Delta \theta_{ij}) / \sum W(\theta_{ij}).$$



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:

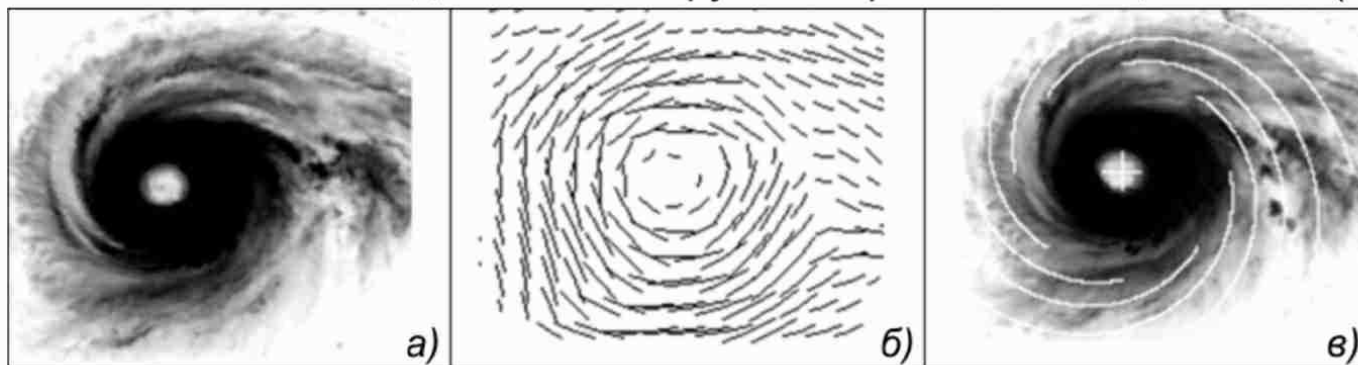
$\rho = 0.78$, $\varphi = 0.61$ рад.

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

$\rho = 0.84$, $\varphi = 0.46$ рад

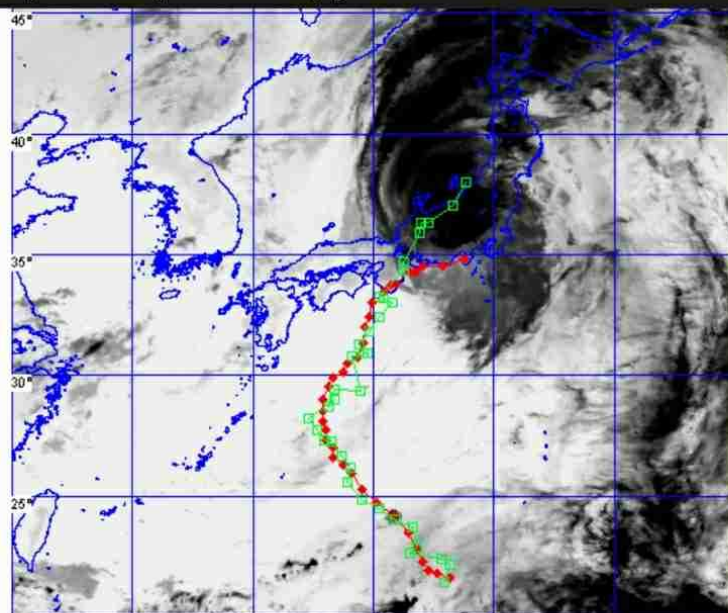


Автоматическое выделение тайфунов - тропических циклонов (ТЦ)

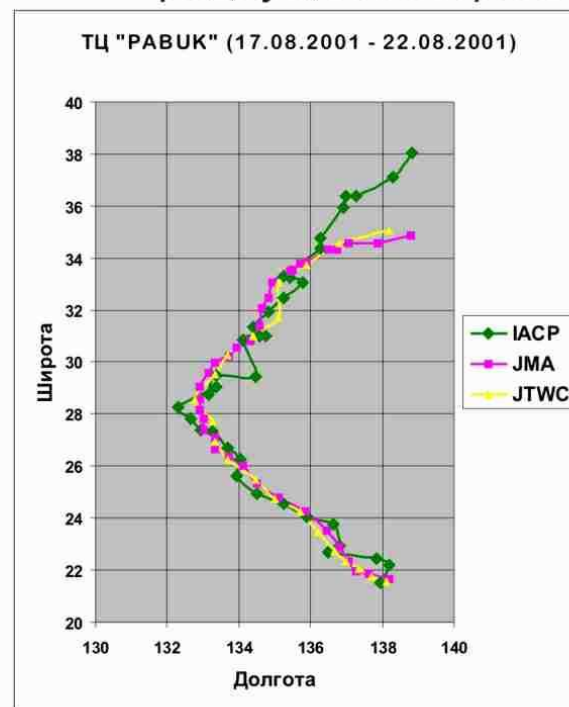


От ИК-изображения → Через ДОТК → К модели: центр, радиус, геометрия.

Траектория тайфуна РАВУК 21.08.2001



Траектория тайфуна РАВУК 21.08.2001
ИАПУ (IACP),
Японское Метеоагентство (JMA)



JTWC - Объединенный центр по предупреждению тайфунов



Алгоритм построения спирали

(Юрчак Б.С. Представление облачно-дождевых полос в тропическом циклоне гиперболически-логарифмической спиралью // Метеорология и Гидрология. 2007. № 1. С. 15–29)

$$\varphi = A \left(\frac{1}{y^{n+1}} - 1 \right) - a \ln y ,$$

φ - угол между радиусом-вектором и положительным направлением оси X

$y = r/r_0$ - относительный радиус

$$A = \left(y_{\max}^n / k r_0 (n + 1) \right) V_{\max}$$

$y_{\max} = r_{\max} / r_0$, r_0 - радиус, при котором считается, что $\varphi = 0$

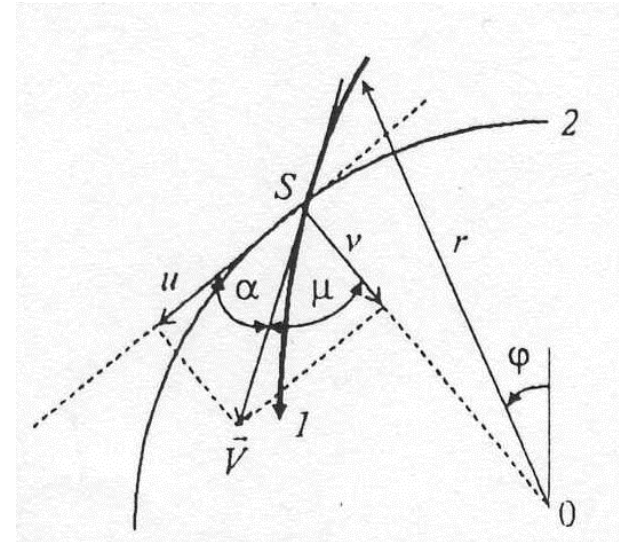
$l = 2\omega \sin \Phi$ - параметр Кориолиса

$a = l/k$, k - коэффициент трения

$$f = \frac{1}{N} \sum \frac{1}{M} \sum \min(|\Theta t - \Theta d|, \pi - |\Theta t - \Theta d|) - \text{целевая функция}$$

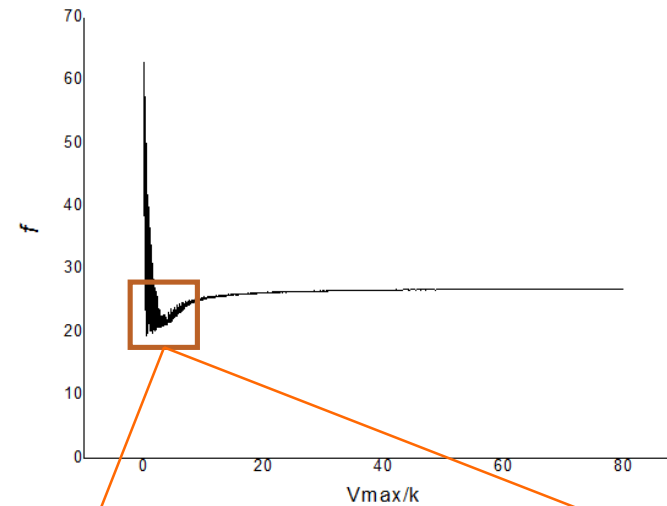
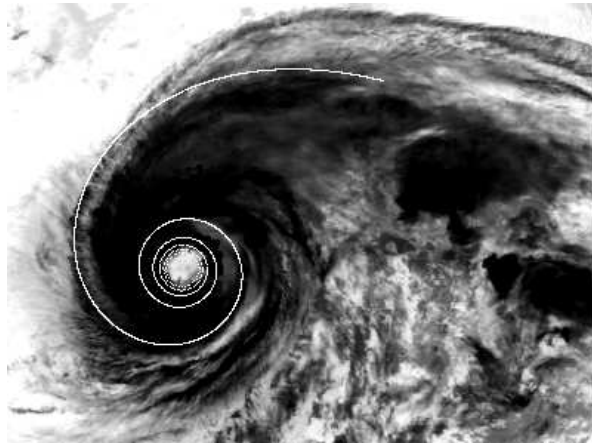
N - количество точек; Θt и Θd - значения углов модели и ДОТК

M - количество спиралей;

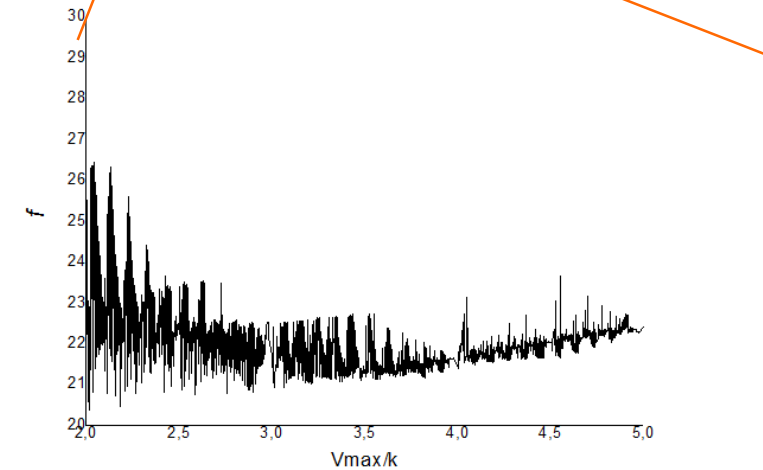
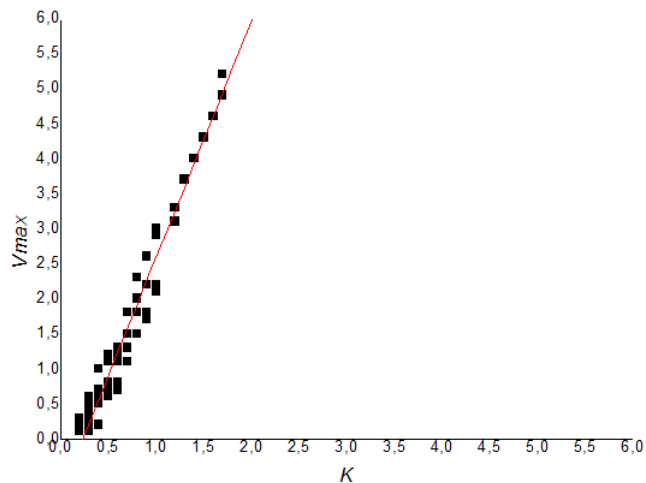




Вид целевой функции



Одна из автоматически строящихся спиралей



Расположение локальных экстремумов в пространстве параметров

Изменчивость целевой функции в зависимости от V_{max}/k

Было исследовано 117 изображений 6-ти тайфунов за летние месяцы с 2000 по 2002гг. 98 из них имели «хорошо выраженные» минимумы.

Максимальная скорость ветра по японским данным составила от 55 до 90 узлов.

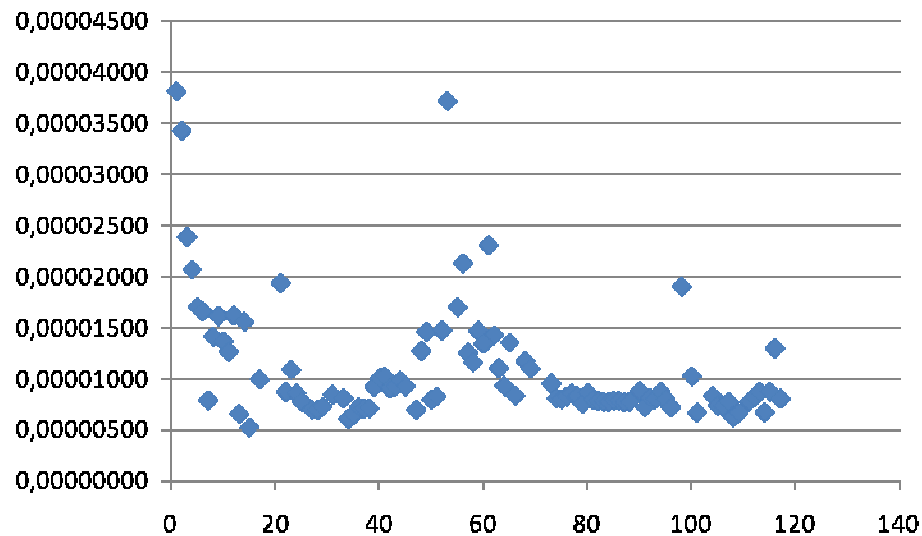




Оценка коэффициента трения

Для каждого тайфуна бралась оценка V_{max} Японского Метеорологического Агентства (по данным besttracks).

Оценки коэффициентов K были получены из соотношения $(V_{max_JP}/V_{max_GLS}/K_GLS)$.



$$\in 0,2 * 10^{-4} \leq k \leq 1,2 * 10^{-4}$$

Полученные значения коэффициента трения k лежат в теоретически допустимых пределах его значений с небольшим смещением в сторону низких значений (Гуральник И.И., Дубинский Г.П., Мамиконова С.В. // Метеорология. Учебник для вузов. – Л., Гидрометеиздат, 1972).

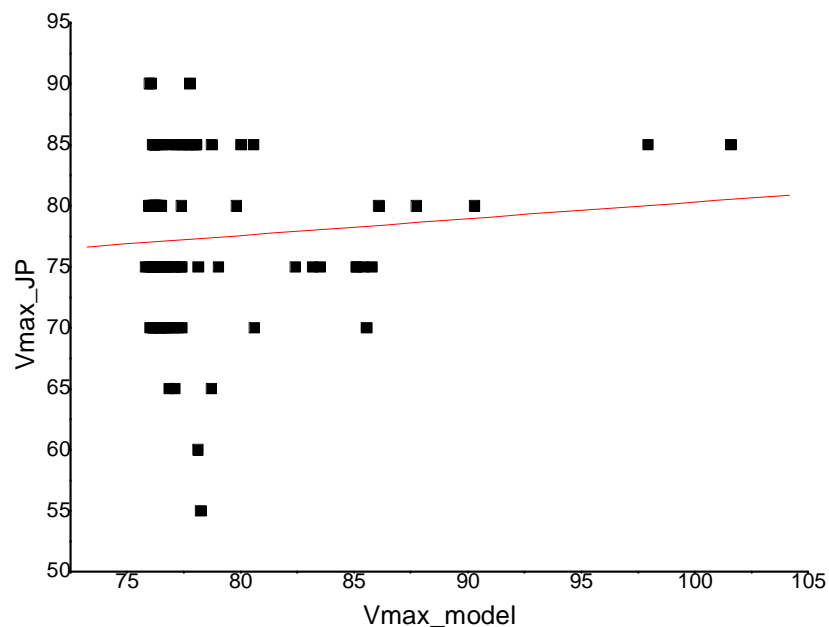




Поиск зависимостей для расчёта параметров Vmax и k

Проблема однозначности оценки Vmax пока не решена

Оценка модельного Vmax



$$K = V_{\max_JP} / (V_{\max_GLS} / k_{GLS});$$

$$V_{\max_JP} = A + BK;$$

$$V_{\max_model} = \frac{A}{\left(1 - B \frac{K}{V_{\max_GLS}}\right)};$$

Если предположить, что Vmax и k связано линейно

Линейная регрессия $V_{\max_JP} = A + B \cdot V_{\max_model}$

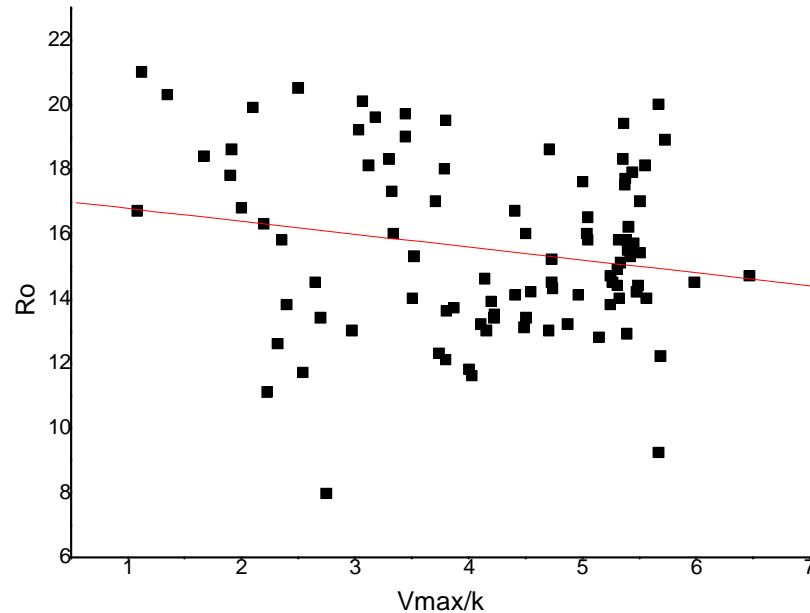
$A = 66,53606$, $error = 12,20079$, $B = 0,13738$, $error = 0,15554$

Полученная зависимость не является статистически значимой.
Но для части тайфунов она наблюдается.





Зависимость V_{\max}/k от числа Россби



$$Ro = \frac{V_{\max}}{r_{\max} l}$$

$l = 2\omega \sin \Phi$ - параметр Кориолиса

$$r_{\max} = 75 \text{ км}$$

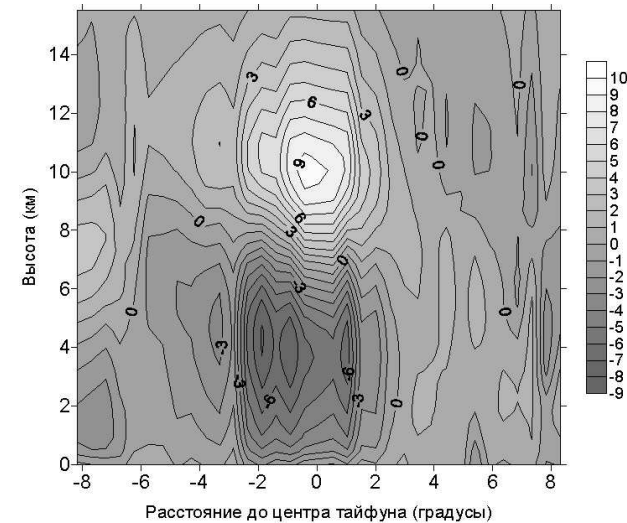
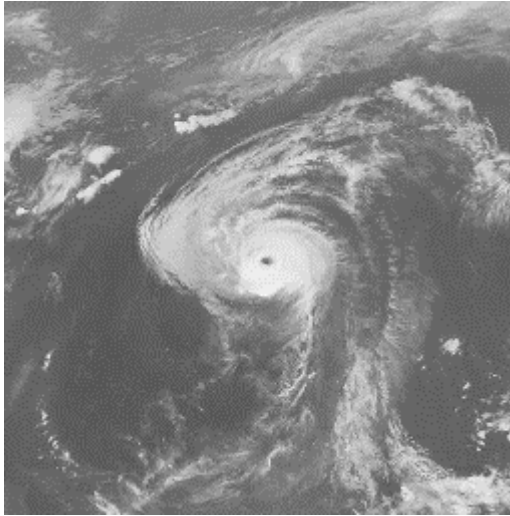
Наблюдается линейная регрессия $Ro = A + B \cdot V_{\max}/k$
 $A = 17.18449$, $\text{error} = 0.90129$, $B = -0.3988$, $\text{error} = 0.20517$

Японские/американские оценки максимальной скорости в ТЦ не являются точными значениями скорости. Для решения задачи однозначности определения V_{\max} планируется использовать также следующие доступные параметры ТЦ.

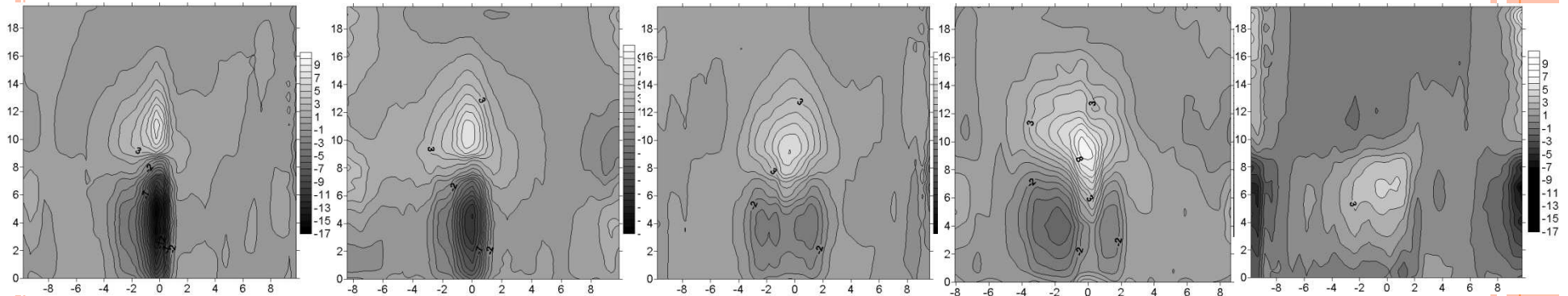




Динамика аномалии температуры в тропическом циклоне



Изображение ТЦ «Usagi» за 1 августа 2007 года, время 20:19 (Гринвич) и поле его температурной аномалии - вертикальное сечение через центр.

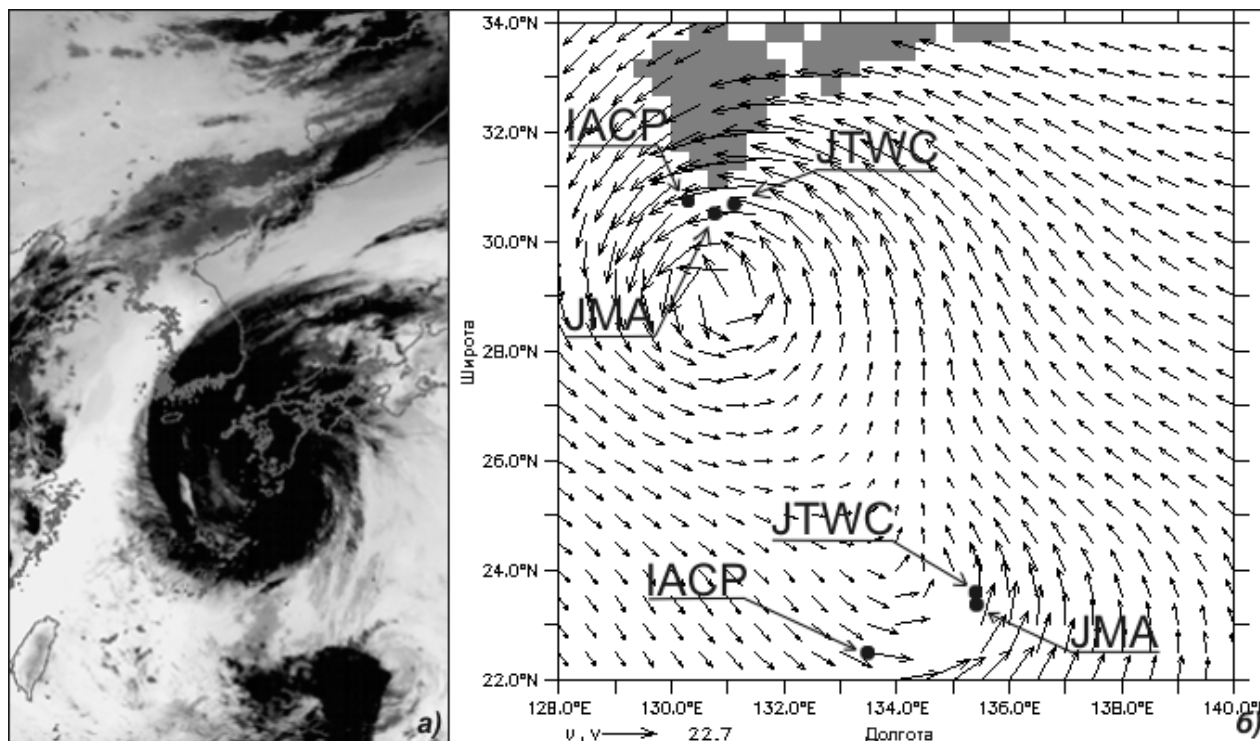


Изменчивость теплого ядра ТЦ в зависимости от его силы (баллы 3,4,5,5,3)

Существуют проблемы в определении температурной аномалии при зарождении ТЦ и при его затухании.



Приводный ветер (слабые ТЦ – нет соответствия с облачностью)



Пример расслоения облачности на холодный кластер с отсутствующей закруткой облачных полос и на теплую облачность с характерной закруткой: *а* – полутонное ИК-изображение облачности тайфуна *FungWong* внизу и тайфуна *Fengshen* вверху за 25.07.2002 12:00 UTC; *б* – поле ветра, соответствующее этому изображению с отметками центров ТЦ, выделенных JMA, JTWC и основной процедурой.





Заключение

1. Траектория ТЦ устойчиво строится автоматически посредством вписывания 8 циклоид в поле структуры облачности ТЦ.
2. В 85% тайфунов локальные экстремумы хорошо выражены. Относительно параметра V_{\max}/k задача решается однозначно.
3. Наблюдается статистически значимая зависимость V_{\max}/k от числа Россби.
4. Задача оценки V_{\max} решается неоднозначно.

