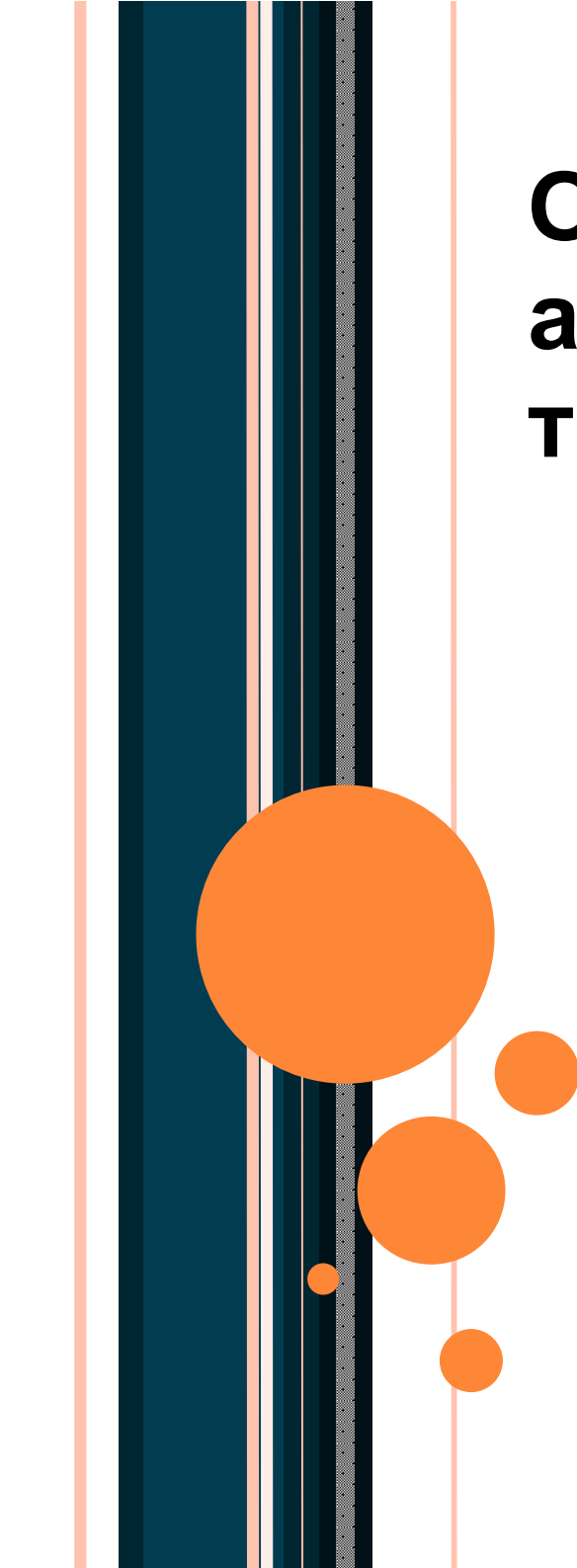


Опытная эксплуатация системы автоматического мониторинга тропических циклонов



**Ерёменко А.С., Боловин Д.А. *Институт Автоматики и
Процессов Управления, ДВО РАН (690041, Владивосток, ул.
Радио 5, тел.: +7(4232)310468
e-mail: academy21@iacp.dvo.ru)***



Постановка задачи

Создание автоматической системы слежения за тропическими циклонами (ТЦ).

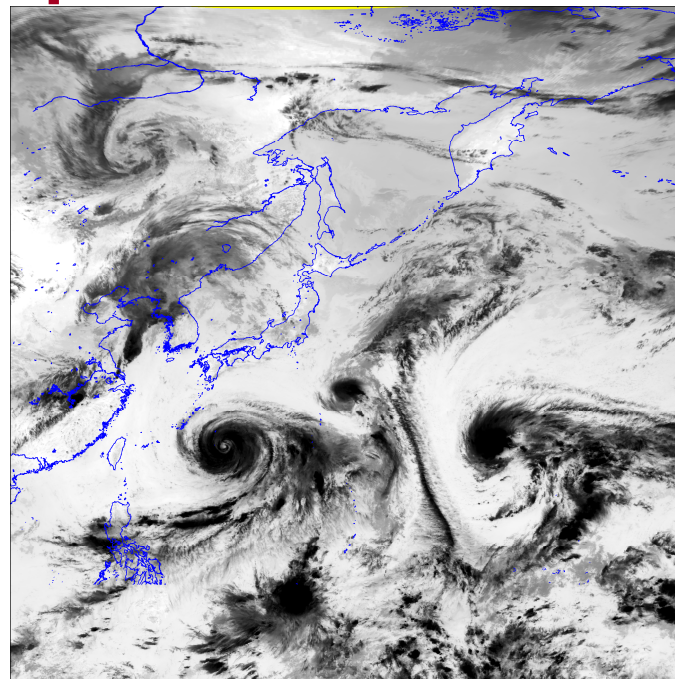
Функции системы:

- обнаруживать ТЦ и отбраковывать ложные объекты;
- определять координаты его центра и геометрические размеры ТЦ;
- строить радиальные профили влагосодержания, оценивать характеристики тёплого ядра ТЦ и оценивать перепад давления в ТЦ.



Используемые данные и алгоритмы

Для алгоритмов автоматического обнаружения ТЦ используются инфракрасные (ИК) снимки с геостационарного спутника MTSAT-1R с пространственным разрешением в 4км. Для каждого снимка строится карты доминантных ориентаций термических контрастов (ДОТК).



Профили температуры и влажности атмосферы рассчитываются по данным радиометров **ATOVS** полярно-орбитальных метеорологических спутников серии **NOAA** европейскими пакетами программ **AAPP**, **RTTOV** и **MetOffice-Dvar**.

Спутниковые данные были получены из **NOAA Comprehensive Large Array-data Stewardship System (CLASS)** с помощью автоматической системы оформления и получения заказов собственной разработки.

Используемые алгоритмы

1. Алгоритм поиска «глаза» ТЦ.
2. Алгоритм поиска центра ТЦ с использованием карт ДОТК.
3. Автоматическое прослеживание ТЦ с отбраковкой ложных объектов.
4. Расчёт профилей температуры и влажности.



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

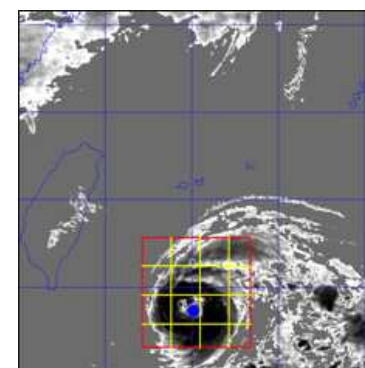
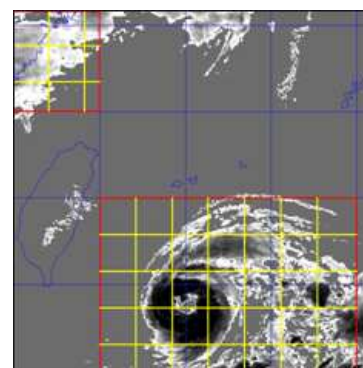
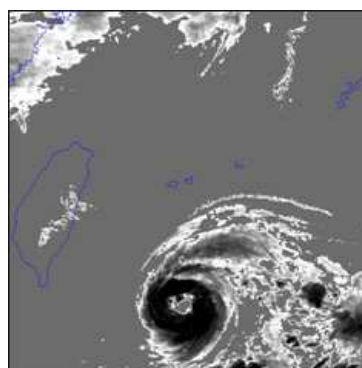
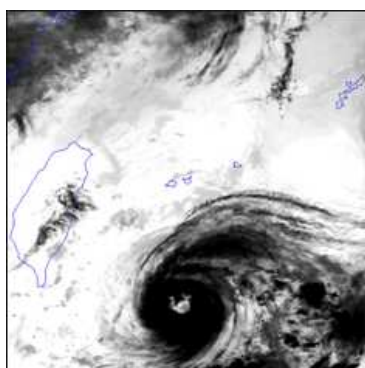
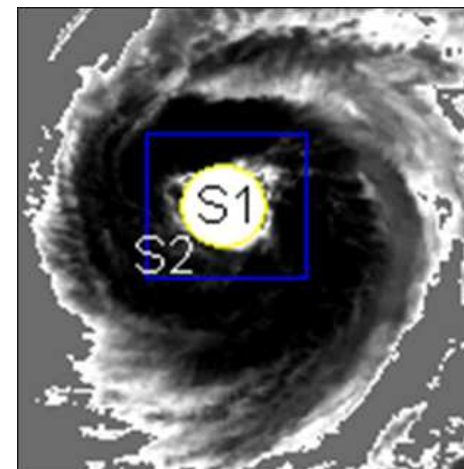
Критерий разделимости участков:

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

S_1 и S_2 – две выборки с объёмами m_1 и m_2

$\hat{\sigma}_1^2$ и $\hat{\sigma}_2^2$ – оценки дисперсий, полученные по выборкам S_1 и S_2

При $u > u_{st}$ окно S_1 обнаружителя расположено в области «глаза» тайфуна, а окно S_2 в районе низкотемпературной облачности тайфуна. Где u_{st} – заданное значение порога.



Изображение
на входе

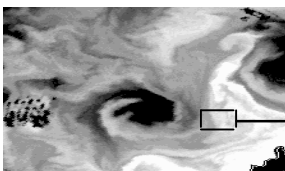
Обработка по
порогу
температур

Выделение
участков
облачности

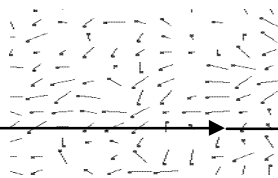
Расчёт глаза
по критерию



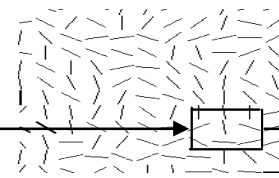
Доминантные ориентации контрастов яркости



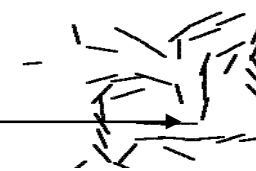
Поле яркости



Поле градиентов яркости

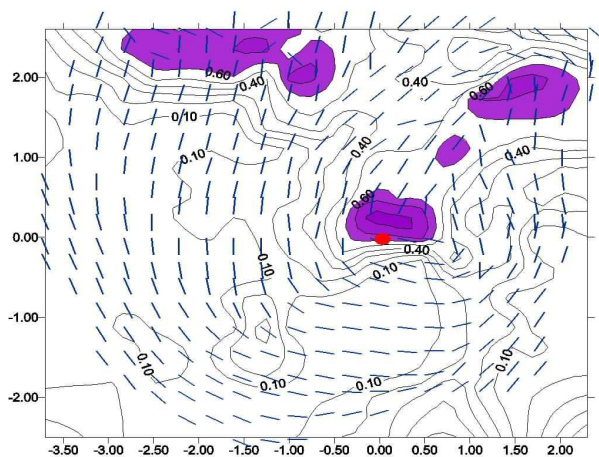


Поле ориентаций контрастов

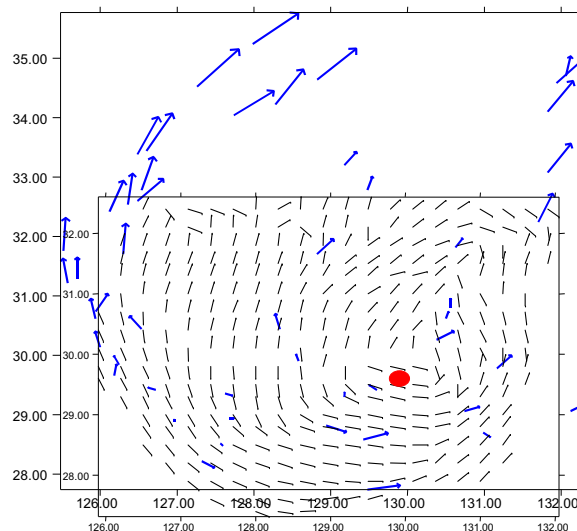


Поле доминантных ориентаций контрастов

Сравнение ДОТК с направлениями ветра ТЦ



Анализ временной устойчивости ДОТК.
Изолинии изменчивости ориентаций контрастов за 14.09.97 в радианах.



Аэрологические измерения скорости ветра и ДОТК

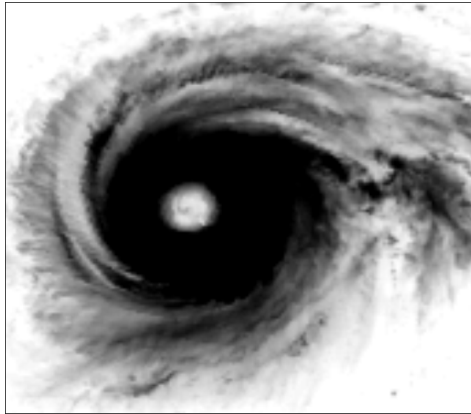
Сравнение структур с аэрологическими скоростями.

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



Расчёт параметров ТЦ по ДОТК



Изображение тайфуна



Карта доминант

Цель – найти начальное приближение центра тайфуна.

Метод:

1. Начальное приближение центра тайфуна
2. Определение радиуса круговой циркуляции

Критерий качества – рассогласование доминант с круговой моделью ТЦ:

$$\rho_c = \frac{1}{N} \sum \min(|\Theta_t - \Theta_d|, \pi - |\Theta_t - \Theta_d|)$$

где C – величина радиуса круга; N – количество точек; Θ_t и Θ_d – значение углов модели и ДОТК.



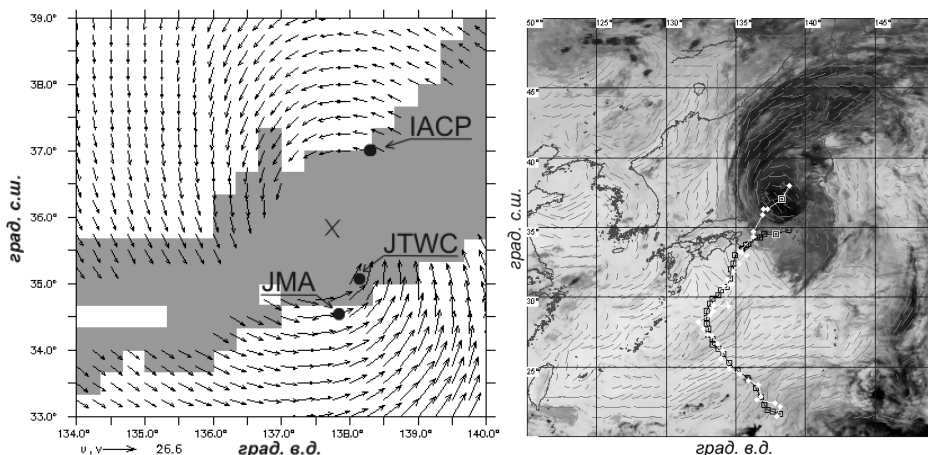
Недостатки, выявленные в результате работы алгоритмов

Для тестирования алгоритма было взято **206** изображений ТЦ со спутника **GMS-5**. Максимальная скорость ветра (по данным **JMA**) находилась в диапазоне от **15м/с** до **45м/с**. Все ТЦ с максимальной скоростью ветра более **25м/с** имели хорошо выраженную структуру облачности, и были выделены алгоритмом.

1. Неверное определение центра для «слабых» ТЦ.

ТЦ со скоростью ветра менее **25м/с** были на стадии затухания, имели «размытую» структуру облачности и не имели «глаза».

Алгоритм не смог выделить ТЦ на **7-ми** изображениях из **44-х**. В худшем случае отклонение от реального центра ТЦ составило **265км**.



ТЦ **PABUK** (22.08.2001 23:39 UTC)
Отклонение от центра на **256км**.

2. Ложные определения ТЦ согласно текущим настройкам алгоритмов.

Для **206** исследованных ИК-изображений ТЦ было найдено **162** ложных объекта.

Ложные объекты отбрасываются по серии, состоящей из не менее, чем **3-х** снимков с интервалом в **1ч**.

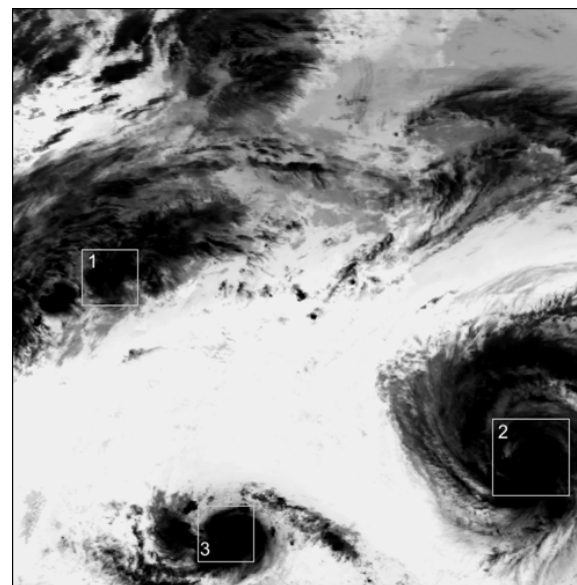
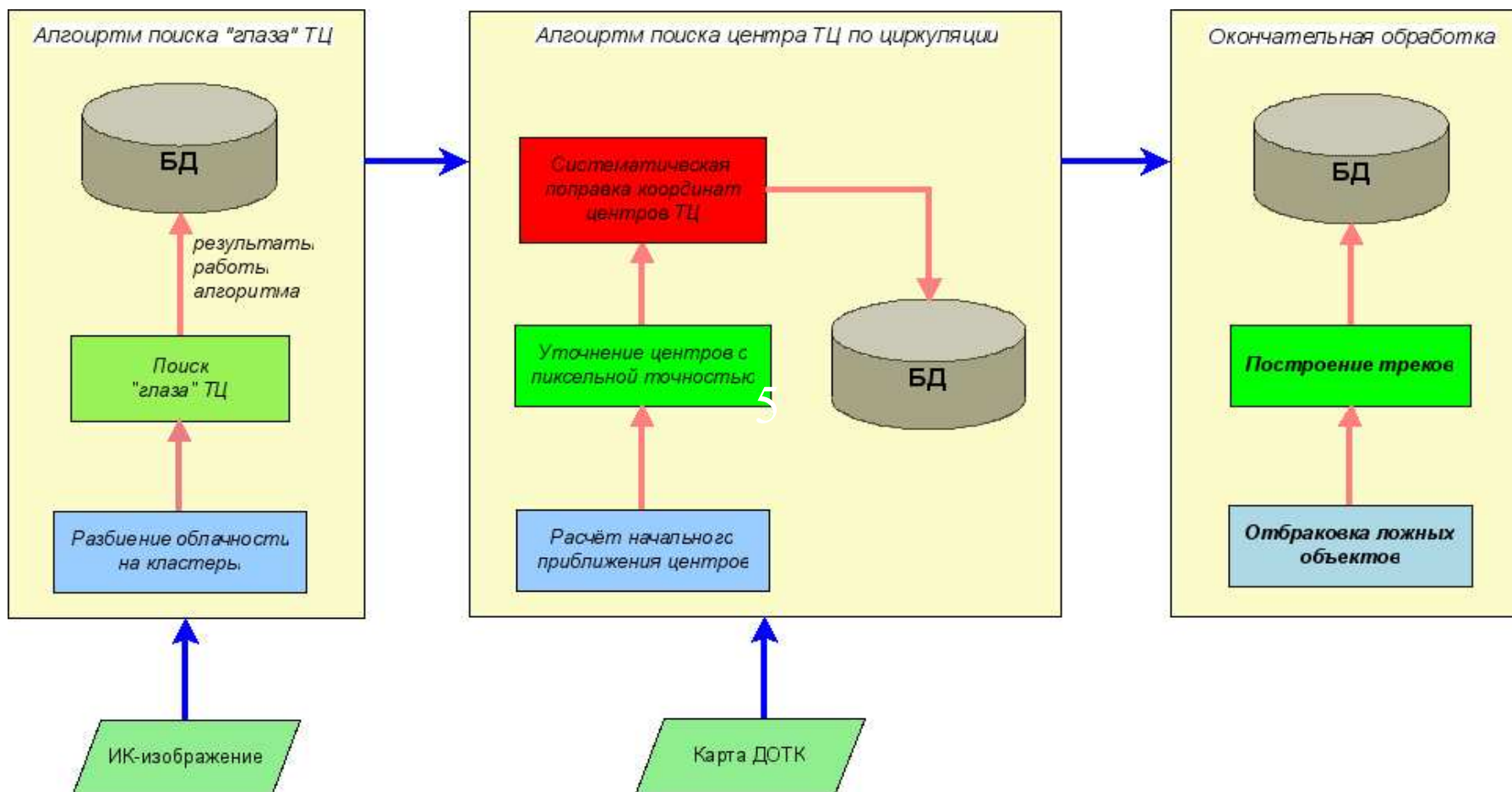




Схема работы системы обнаружения ТЦ



Общая схема алгоритма:

1. Для каждого облачного кластера (линейные размеры более 200км) производится расчёт ***t*-критерия** делимости участков облачности. По установленной величине производится отбраковка.

2. Поиск начальных приближений центров ТЦ на основе алгоритма поиска циркуляций. Далее производится уточнение центров ТЦ с пиксельной точностью.

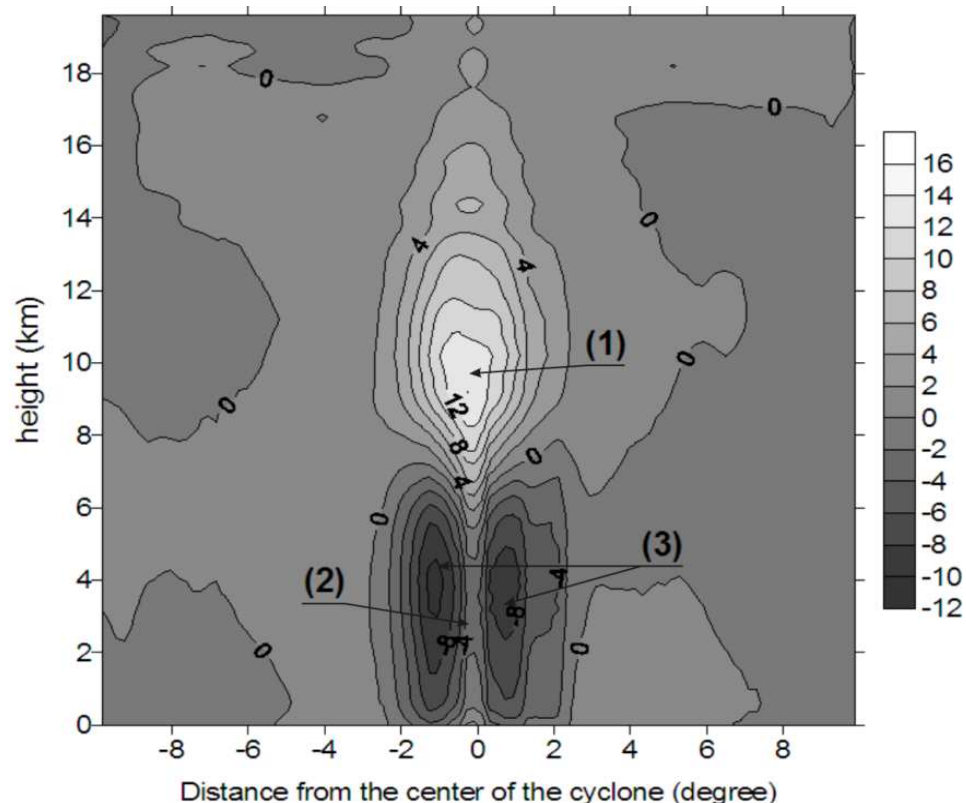
3. Все полученные координаты предполагаемых центров ТЦ проходят отбраковку по серии из 3-х спутниковых снимков.



3-х мерная структура ТЦ (1)

Траектория ТЦ является основой для автоматического вычисления и анализа 3-х мерной структуры ТЦ. Вертикальные атмосферные профили **Температуры и влажности**, рассчитываемые на основе данных с радиометра **ATOVS/NOAA** пакетом программ от Европейского Космического Агентства, используются для проведения анализа.

Один проход **NOAA/ATOVS** приводит к необходимости решения около **10тыс.** Задач нелинейного программирования (на кластере) **15ТФлопс.** Все вычисления Проходят в полностью автоматическом режиме.

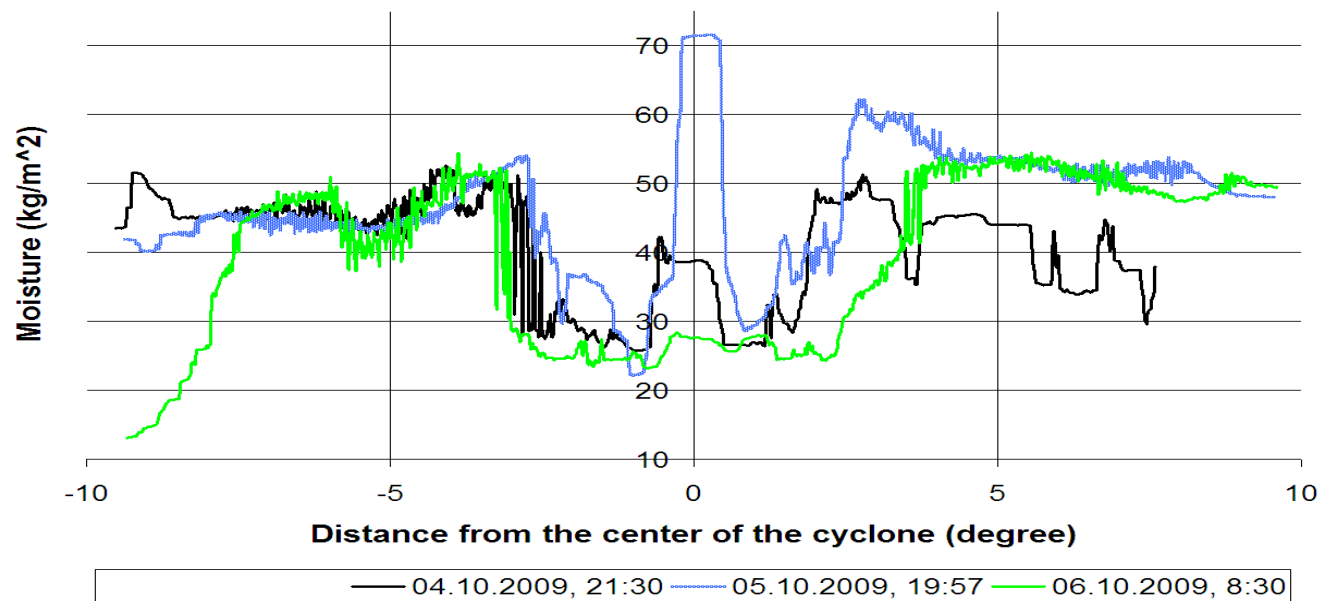


Вертикальна кросс-секция температурной аномалии ТЦ “MELOR” вдоль радиуса (5 Октября, 2009г., 18:30UTC). Видны два тёплых ядра (1), глаз ТЦ (2) и зоны обильных осадков (3).



3-х мерная структура ТЦ (2)

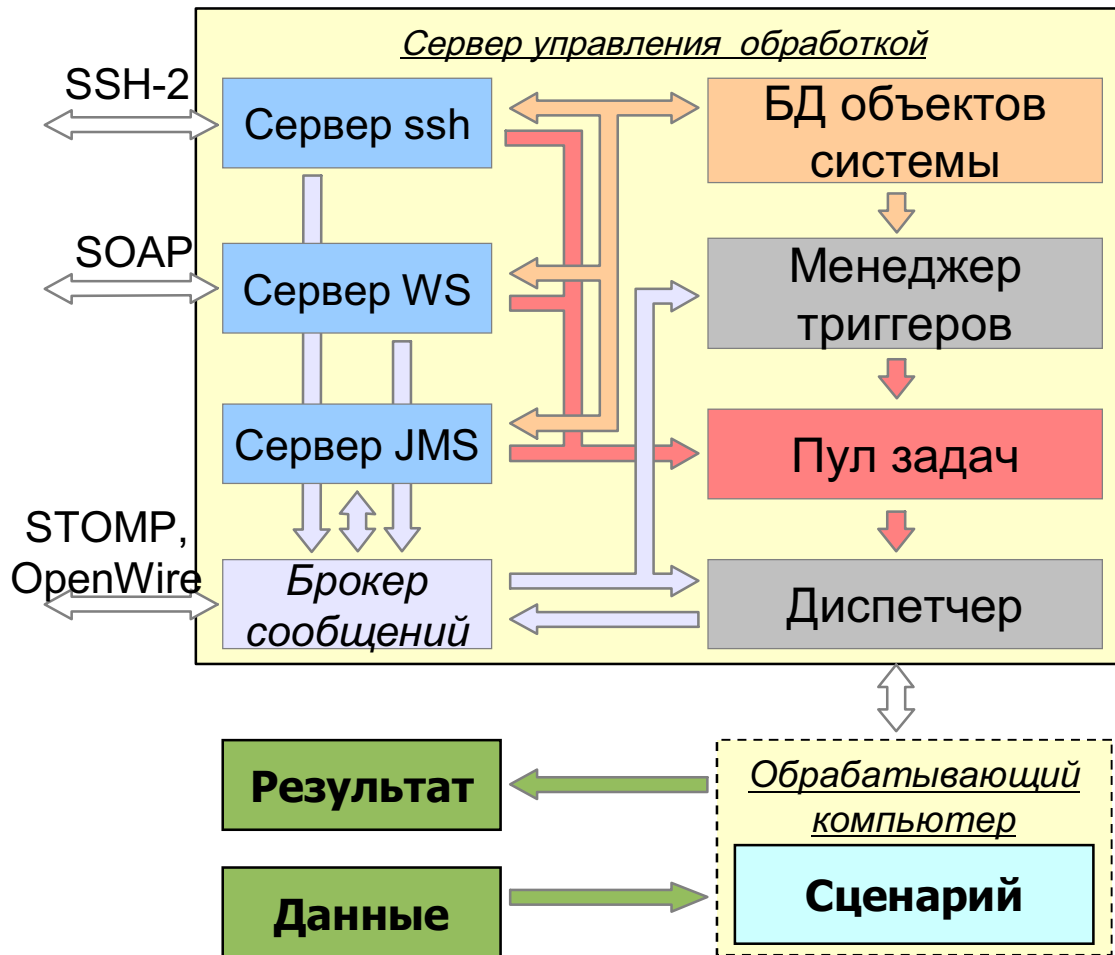
Температура и высота тёплого ядра совместно с параметрами зоны обильных осадков напрямую связаны с энергией ТЦ и его фазой развития. Влажность, содержащаяся в ТЦ позволяет произвести оценку его параметров.



Пример абсолютного влагосодержания (суммарно всем слоям профиля), осреднённого вдоль радиуса ТЦ “MELOR” в соответствии с хронологией.



Структура распределённой системы обработки



- Доступ к системе обеспечивается посредством множества протоколов, таких как **SSH-2**, **SOPA**, **STOMP**, **OpenWire**.
- Запуск и контроль задач на удалённых машинах осуществляется посредством протокола **SSH-2**.
- Система триггеров позволяет осуществить запуск схем по событию, т. е. организовать разветвлённые цепочки обработки.

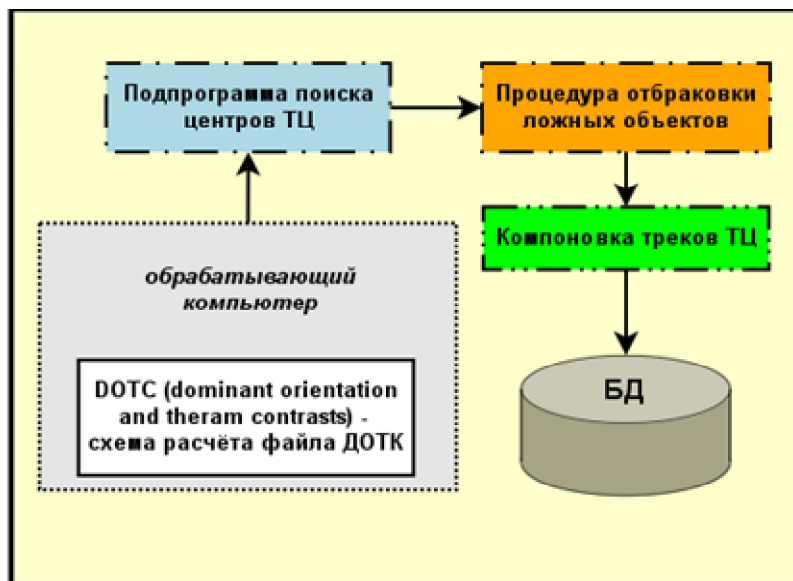
Диспетчер обработки реализован на платформе **Java EE**, в качестве системы передачи сообщений использует **JMS(Java Message Service)**.

Инициатором запуска сценария может быть не только пользователь, но и другой сценарий. Возможен как **асинхронный** запуск сценария, так и **синхронный** (т.е. с ожиданием завершения работы).

Формализован только **набор параметров** и **ненулевой код возврата** в случае ошибки.



Общая схема работы системы



Ложные объекты отбраковываются с использованием информации с предыдущих 2-х снимков. Для каждой координаты предполагаемого центра ТЦ в радиусе 60км проверяется наличие точки на предыдущем снимке уже включённой в трек.



ИК-проекция:
широта - 0°00'00"S,
долгота - 110°00'00"E,
размер по широте
и долготе - 70°

Схема,
контролирующая
весь процесс:
подготовку и
обработку данных,
запуск необходимых
подпрограмм.