

В. А. Левин, А.И. Алексанин, М.Г. Алексанина, П.В. Бабяк, С.Е. Дьяков, А.А. Загуменнов,
А.С. Еременко, С.Н. Катаманов, В. Ким, В.А. Качур, И.В. Недолужко, Е.В. Фомин

Технологии мониторинга поверхности океана спутникового центра ДВО РАН

**Институт автоматки и процессов управления
Дальневосточного отделения Российской академии наук
600041, г. Владивосток, ул. Радио-5,**

**Четырнадцатая Всероссийская открытая конференция
"Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса"
14 - 18 ноября 2016 г. Москва**



Оригинальные технологии Центра

(коричневым цветом выделены технологии, работающие автоматически в оперативном режиме)

Геопривязка

- Технология высокоточной географической привязки с прогнозом параметров привязки

ТПО-1

- Технология построения композиционных карт температуры поверхности океана ТПО

ТПО-2

- Технология улучшения пространственного разрешения ТПО, построенного по данным пассивного микроволнового зондирования

ДОТК

- Построение структурных карт ТПО в форме доминантных ориентаций термических контрастов (ДОТК)

Вихри

- Технология автоматического выделения синоптических вихрей океана по картам ДОТК с расчетом положения, формы, размеров вихрей

Тайфуны

- Технология автоматического мониторинга тропических циклонов с расчетом геометрических и термодинамических характеристики

Скорости

- Технология расчета скоростей течений на основе автоматического прослеживания термических неоднородностей

Динамическая топография

- Технология восстановления уровня поверхности моря

Дрейф льда

- Расчет скоростей дрейфа льда по данным ИК, видимого диапазонов и пассивного микроволнового зондирования

Сжатие льда

- Расчет характеристик сжатия льда по скоростям дрейфа



Композиционные карты ТПО

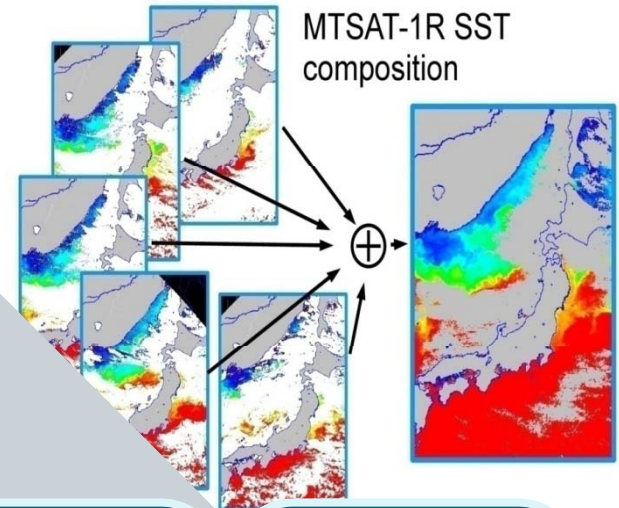
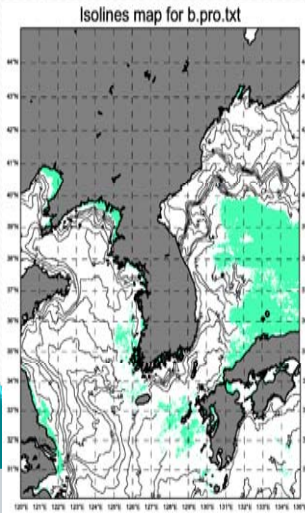
– информационная основа мониторинга океана

1. минимизация стандартной ошибки ТПО (при сравнении с температурой на глубине в 1 метр)

2. отсутствие следов неотфильтрованной облачности на картах ТПО

3. увеличение процента покрытия наблюдаемого района

Основные задачи построения ТПО



Обнаружение дневного прогрева:

Определяется робастное значение ТПО
 $T_{max} = \text{медиана}(T_{H_{sun} > 0^\circ} |_{H_{sun} < 25^\circ})$
 Если наблюдаемое днем значение ТПО значительно превосходит $T_{max} + \Delta T$ – значение отфильтровывается ($\Delta T = 2^\circ K$)

Построение карты эталона ТПО

$T_{\text{эталон}}^{x,y} = \text{медиана}(T^{x,y,t} | (R(x,y,x_0,y_0) < \Delta R), \Delta R = 7 \text{ км})$

Построение карты пространственной изменчивости:

$T_{\text{простр изм}}^{(x_0,y_0)} = \text{Квантиль75-Квантиль25}(T^{x,y}, R(x,y,x_0,y_0) < \Delta R), T^{x,y} = \text{Медиана}(T_{x,y,t} | t \text{ in } (0,N))$

Построение карты временной изменчивости:

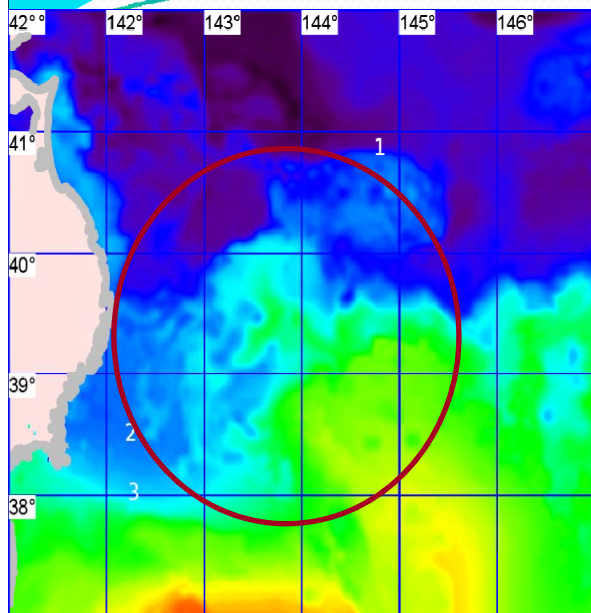
$T_i = \text{медиана}(T^{x,y,t} | (R(x,y,x_0,y_0) < \Delta R, t=i), T_{\text{врем изм}} = \text{Квантиль75}(t_i, i \text{ in } [0 .. \text{max_i}]) - \text{Квантиль25}(t_i, i \text{ in } [0 .. \text{max_i}])$

Фильтрация данных:

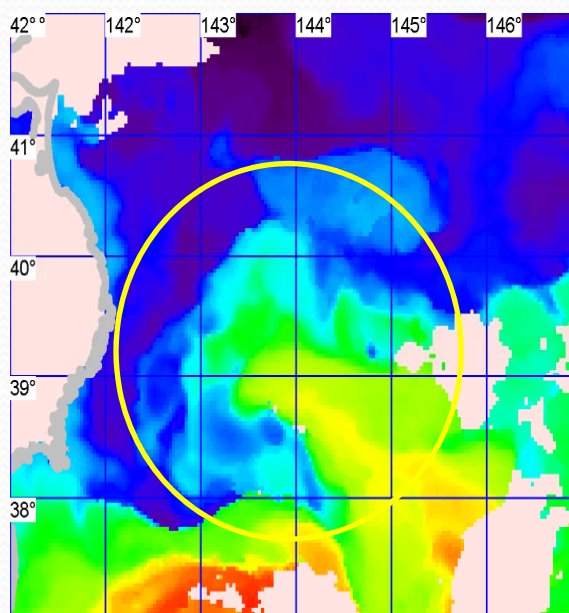
Точка отбрасывается если её восстановленное значение ТПО в точке не принадлежит промежутку
 $[T_{\text{эталон}} - 2 * (T_{\text{простр изм}} + T_{\text{врем изм}}) .. T_{\text{эталон}} + 2 * (T_{\text{простр изм}} + T_{\text{врем изм}})]$



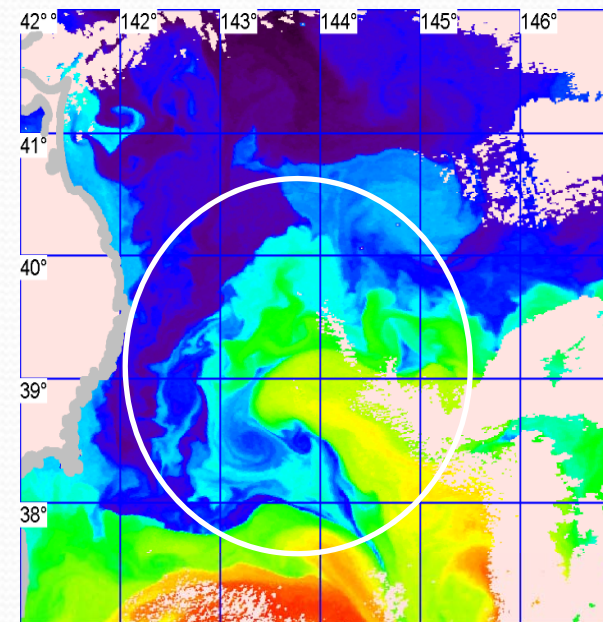
Качество карт ТПО (СЦ ДВО РАН) в сравнении с зарубежными аналогами



**Временная композиционная
карта ТПО NASA за 2013.03.15**
(<http://ourosean.jpl.nasa.gov/SST/>)



**Временная композиционная
карта ТПО за 2013.03.15**
(Спутниковый центр ДВО РАН
в ИАПУ – СЦ ДВО РАН)



**Мгновенная карта ТПО
за 2013.03.15**

**Сопоставление результатов с картами построенными по
технологии G1SST (JPL NASA)**



ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТА ТПО НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ МАМФОРДА- ШАХА

$$E(f, \Gamma) = \mu^2 \iint_R (f - g)^2 dx dy + \iint_{R-\Gamma} \|\nabla f\|^2 dx dy + \nu |\Gamma|$$

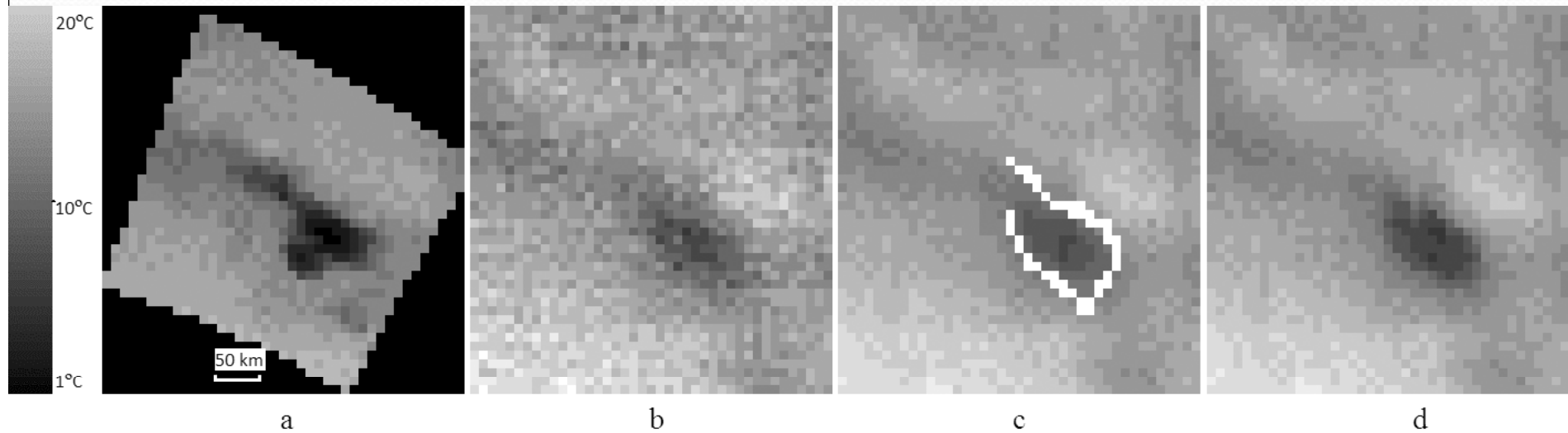
где g – наблюдаемое изображение, f -
аппроксимирующая функция, Γ - совокупность границ,
 μ, ν – положительные весовые коэффициенты.
В нашем случае для обучения алгоритма используется
дополнительный критерий:

$$E_0(f, f_0) = \iint_R (f - f_0)^2 dx dy$$

Для повышения точности AMSR-E ТПО в качестве эталонных
значений ТПО f_0 на этапе обучения использовались данные
MODIS.



Восстановление изображений, сохраняющее границы



Банка Кашеварова, Охотское море

a – MODIS ИК-данные (2 сентября 2009), с пространственным разрешением 10 км;

b – ТПО AMSR-E;

c – Обработка винеровским фильтром и построение границы фронта;

d – Улучшение ТПО - решение задачи деконволюции



Восстановление изображений , сохраняющее границы

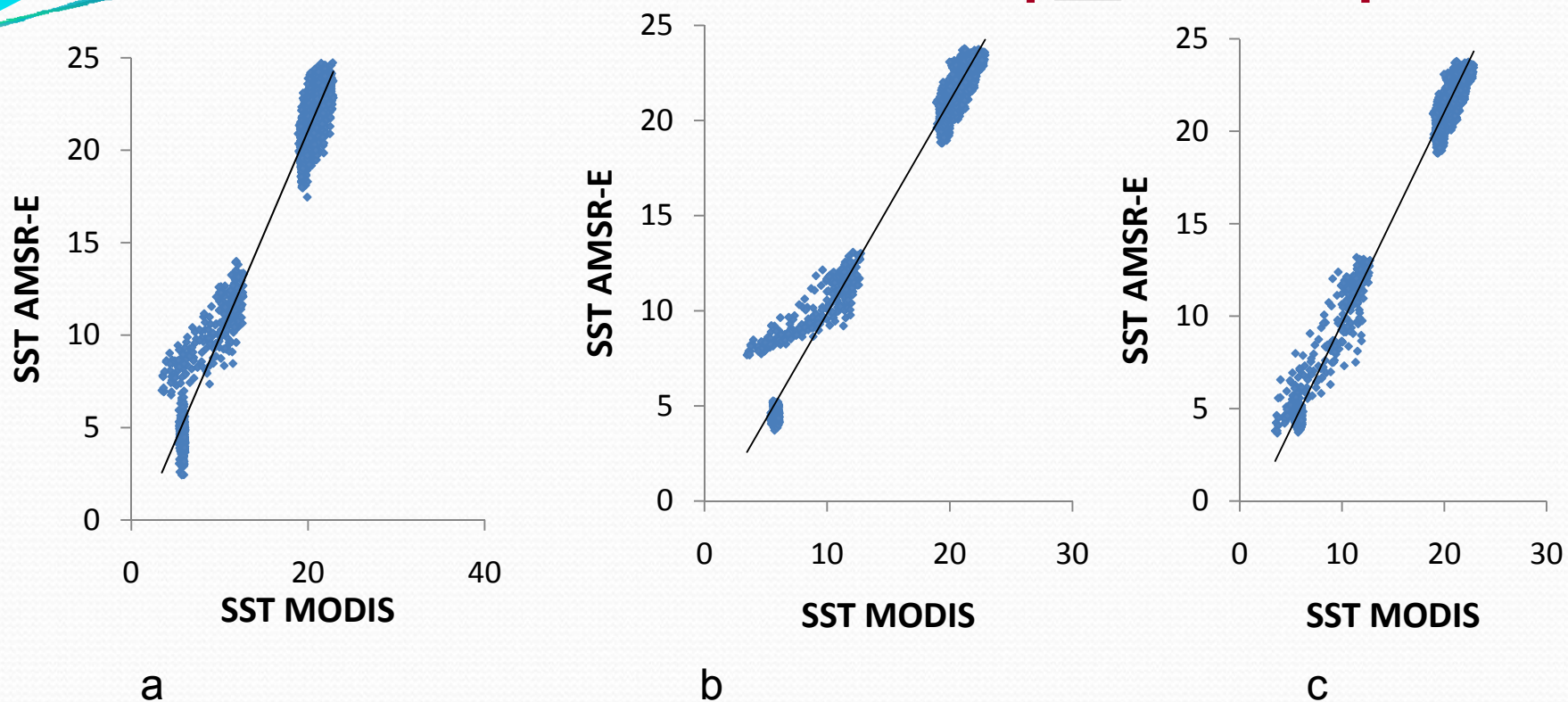


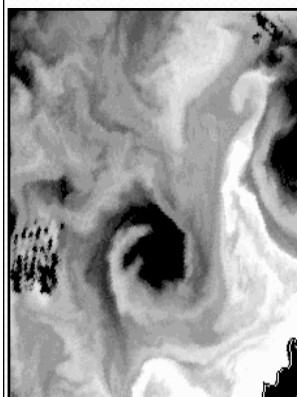
Рис. а,в показывают, что систематический «теплый сдвиг» может превышать 3°C, который существенно снижается после обработки



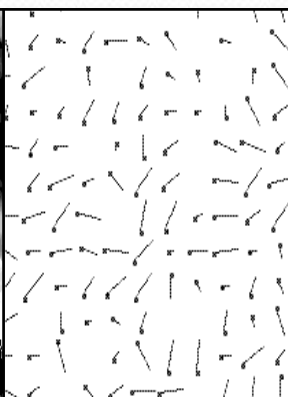
Автоматическое выделение вихрей по ДОТК : Обнаружение вихрей с оценкой их формы

Исходные данные – карты температуры поверхности океана представленные в виде полей доминантных ориентаций температурных контрастов (ДОТК).

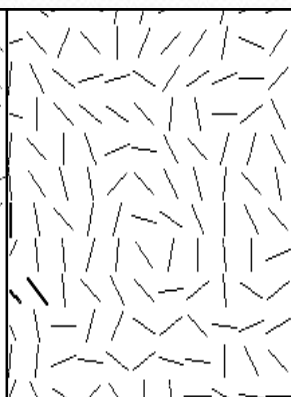
Алгоритм – поиск начального приближения центра вихря и формы на основе модели замкнутой циркуляции, расчёт центра и формы линии тока вихря.



1. Поле яркости (температур)



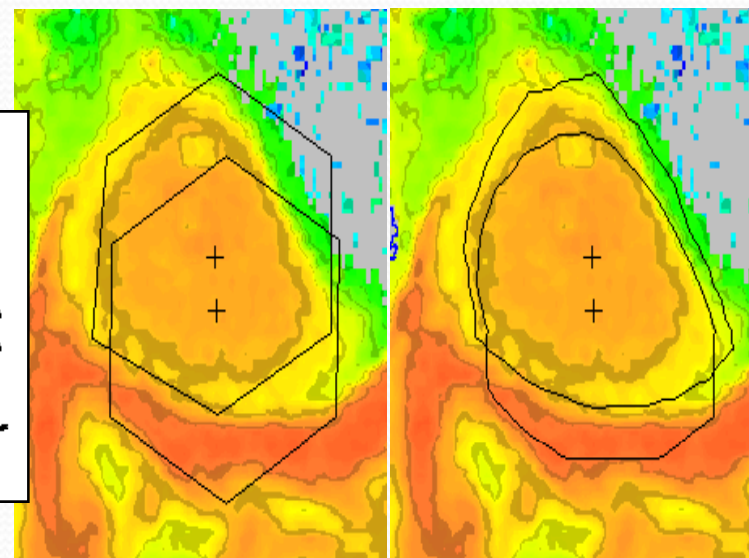
2. Поле градиентов яркости



3. Поле ориентаций контрастов



4. Поле доминантных ориентаций контрастов



Начальное приближение вихря и уточнённый контур



Фильтрация ложных объектов и определение устойчивых во времени вихрей

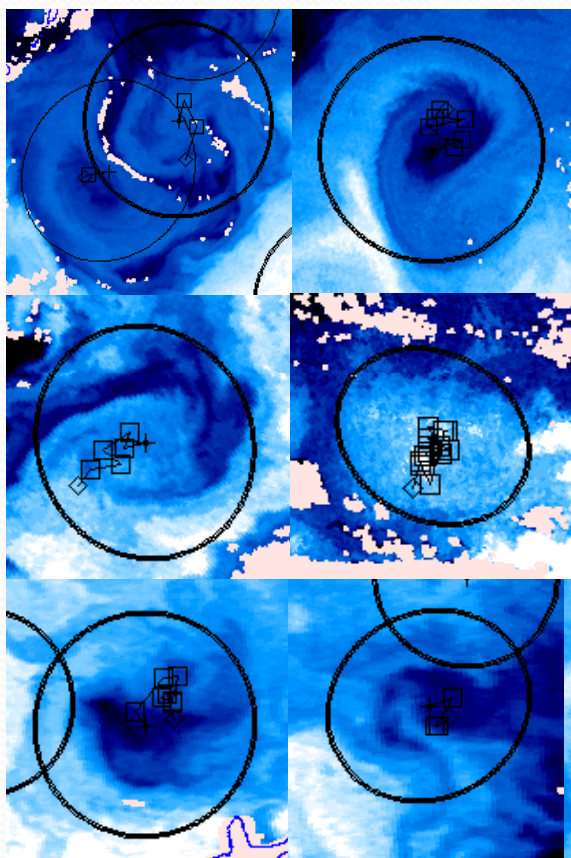
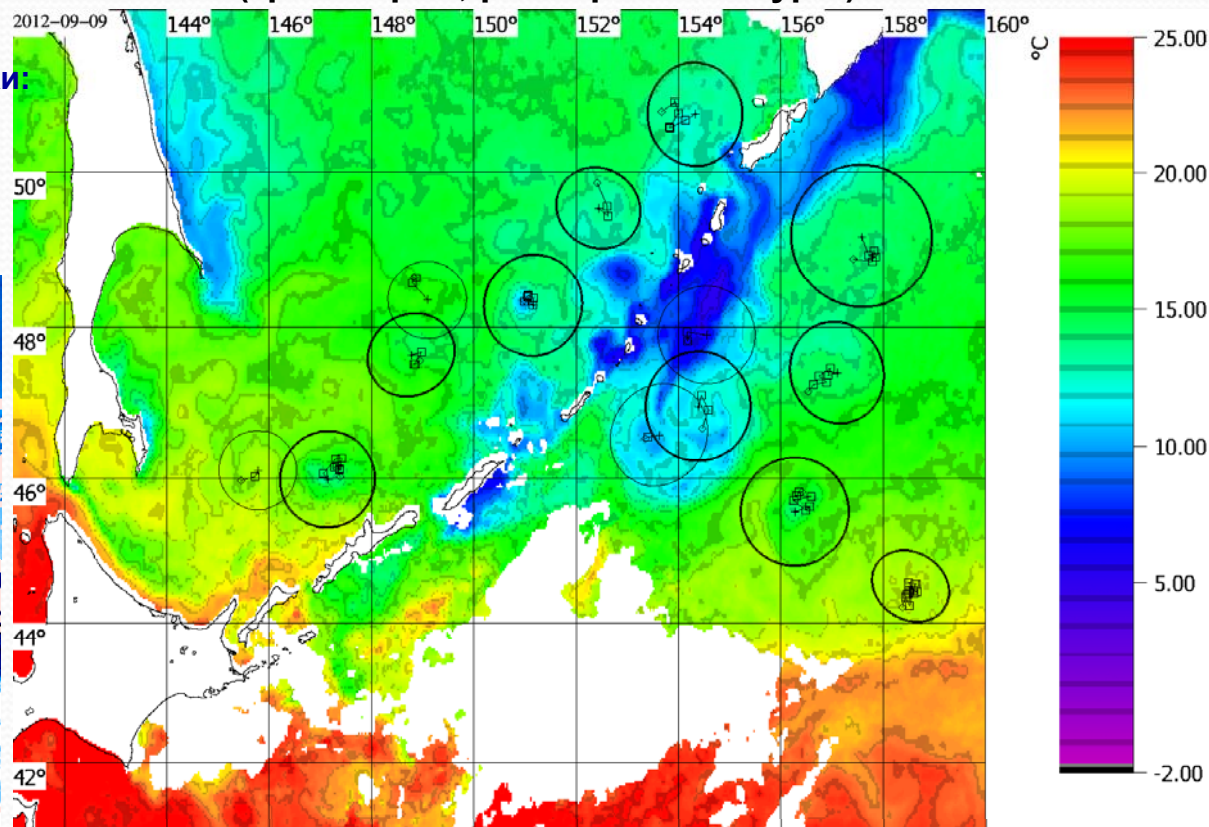
Внизу – те же вихри на картах ТПО NOAA.

Из 87 структур с временем жизни от 5 суток за год обнаружено автоматически:

88% – реальные вихри

12% – устойчивые температурные структуры, похожие на вихри.

Справа – мониторинг устойчивых вихрей по картам ТПО MTSAT-1R (траектории, размеры и контуры).





Новый метод расчета скоростей поверхностных течений

Критерий сходства площадок

$$K=r^{\alpha} \cdot E^{\beta} \cdot S^{\gamma}$$

Коэффициент корреляции $r(p, q)$

Нормированное рассогласование яркостей $E(p, q)$:

$$E(p, q) = 1 - \frac{1}{e_1 + e_2} \times \sum_j \sum_i |[I(i, j) - \bar{I}1] - [I(i + p, j + q) - \bar{I}2]|$$

где $e_1 = \sum_j \sum_i |I(i, j) - \bar{I}1|$ $e_2 = \sum_j \sum_i |I(i + p, j + q) - \bar{I}2|$

I – яркость

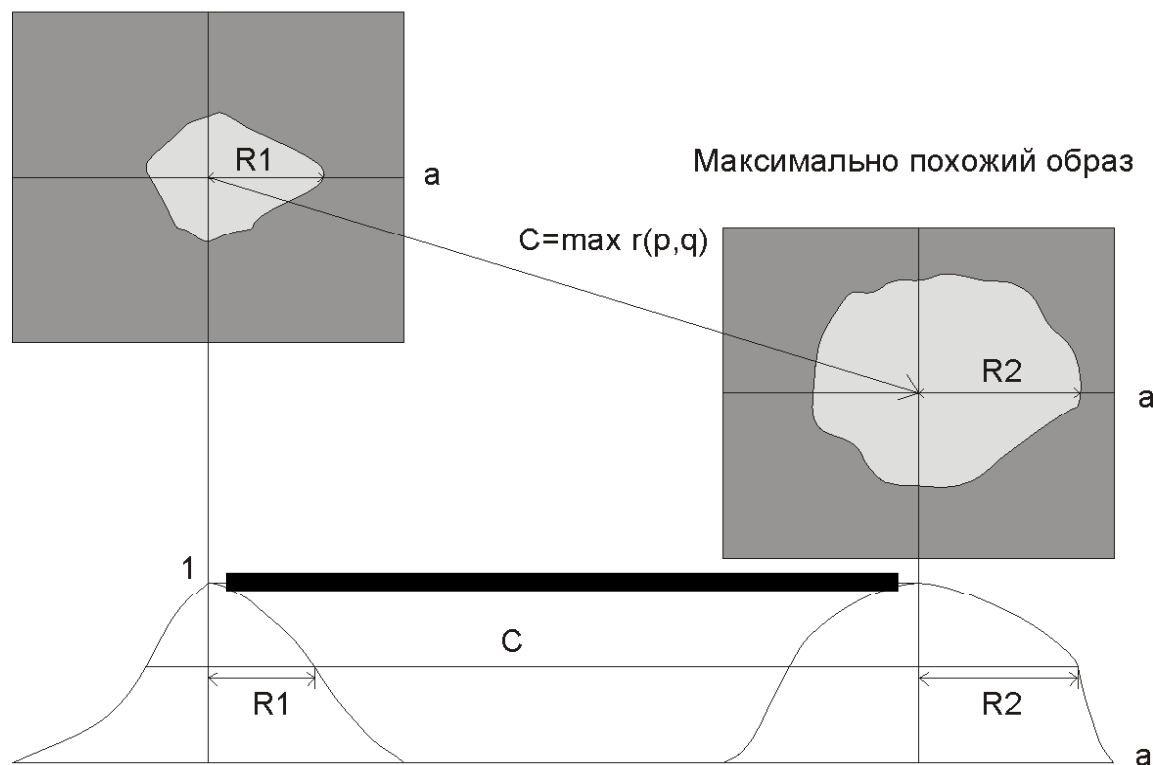
Дисперсия S

$$S(p, q) = \frac{2\sigma_1\sigma_2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$



Отбраковка векторов по критерию «априорной точности»

Окно-шаблон



- Автокорреляция – характеристика схожести области самой себе
- Пусть $R^* = \max(R1, R2) / \Delta t$ при $C = \max g(p, q)$
- Зададим порог P

Если $R^* < P$, перемещение удовлетворяет нас с заданной точностью, иначе - вектор удаляется

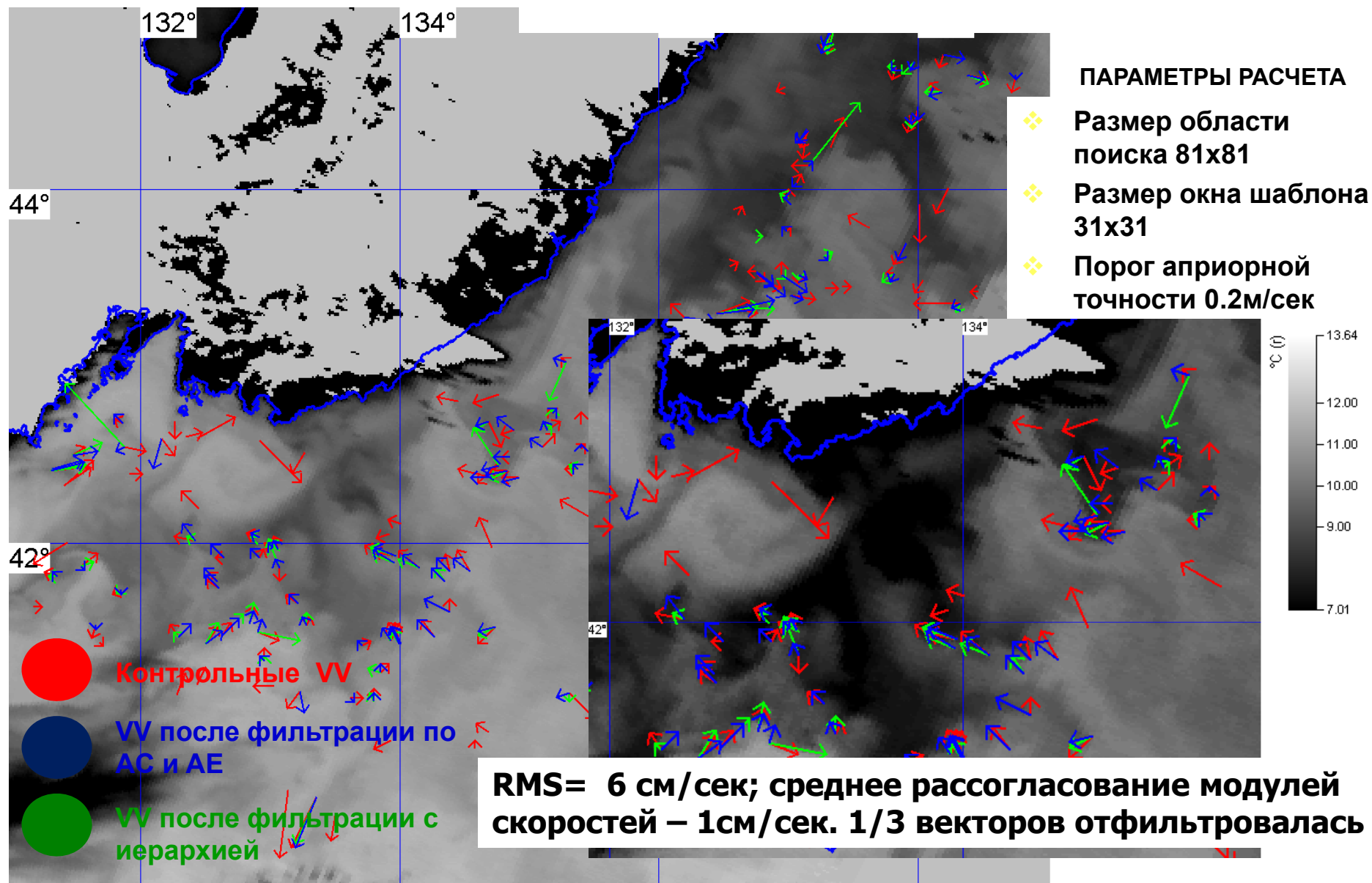


Пример работы: Японское море – 2000.10.21

Изображения NOAA/AVHRR за 2000.10.21 07:40

и за

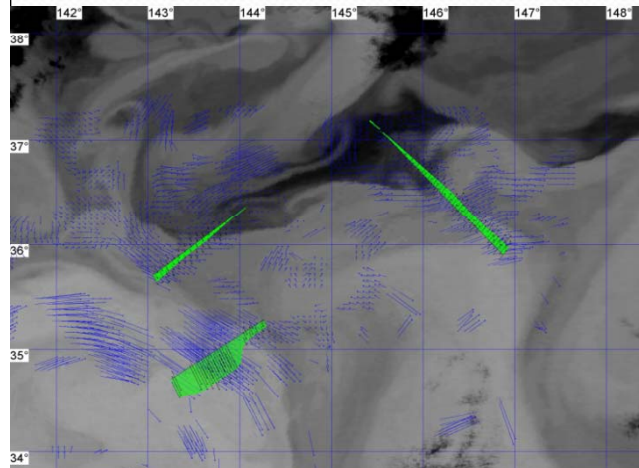
2000.10.21 21:36



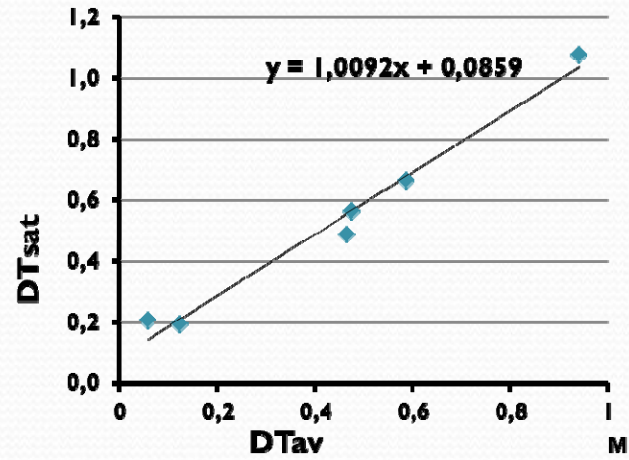


Сравнение с альтиметрией

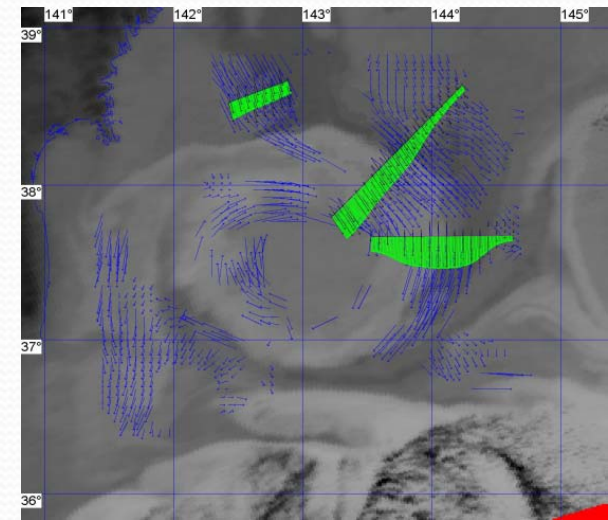
Карта ТПО со спутниковыми скоростями течений и разрезы, на которых считались перепады высот уровенной поверхности



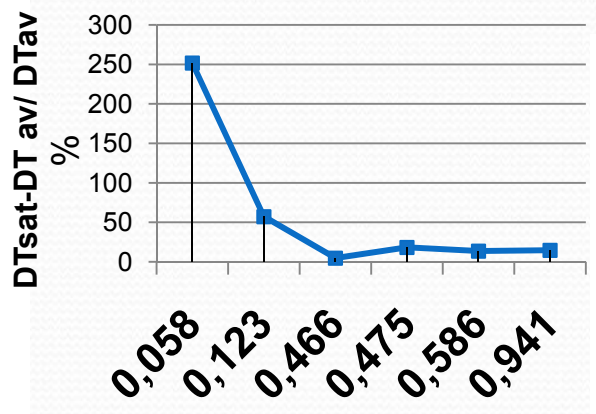
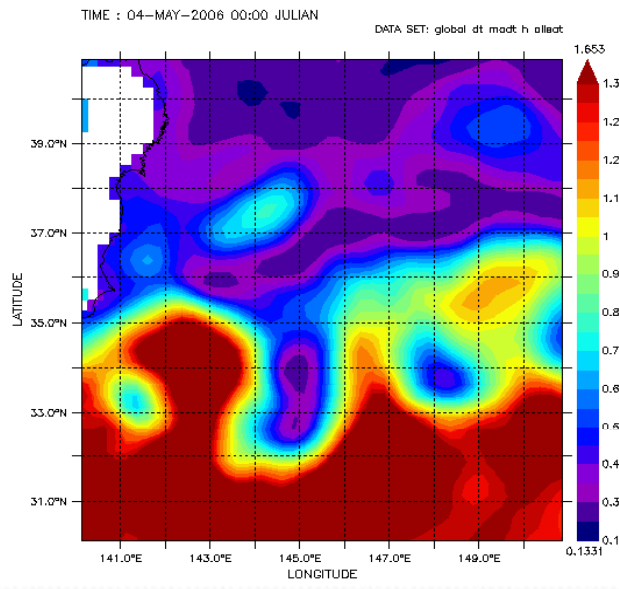
LAS 7./Ferret 6.72 NOAA/PMEL



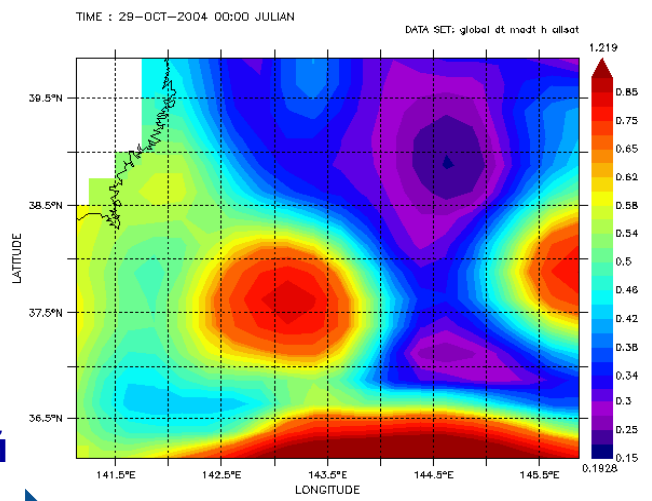
Относительная ошибка



LAS 7./Ferret 6.72 NOAA/PMEL



Соответствующие карты абсолютной динамической высоты (AVISO)





Алгоритм построения уровенной поверхности вихря

Вход:

1. контур вихря, построенный по картам ТПО, соответствует (предположительно) максимальным скоростям вихря и представляет собой ломанную замкнутую кривую;
2. центр вихря и его характерный размер;
3. спутниковые оценки скоростей поверхностных течений.

Алгоритм:

1. Контур вихря аппроксимируется замкнутым параметрическим кубическим сплайном.
2. Рассчитываются тангенциальные и нормальные компоненты скорости
3. Проводится минимизация функции F_{obj} по параметрам модели вихря

Модель функции тока вихря

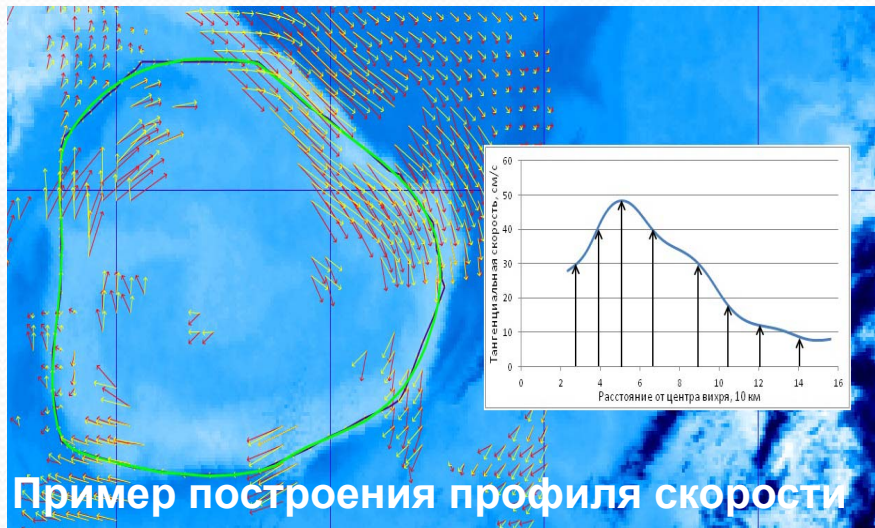
R_m — расстояние от центра вихря до зоны максимальных скоростей вихря, A_0 — амплитуда вихря.

$$F(r) = \begin{cases} A_0 \left(1 - \frac{1}{R_0 R_m} r^2 \right), & 0 \leq r \leq R_m \\ \frac{A_0}{R_0 (R_0 - R_m)} (r - R_0)^2, & R_m \leq r \leq R_0 \end{cases}$$

Целевая функция:

$$F_{obj}(x) = \sum_{i=1}^N \left((Vt_{np}^i - Vt_{meop}^i)^2 + (Vn_{np}^i - Vn_{meop}^i)^2 \right)$$

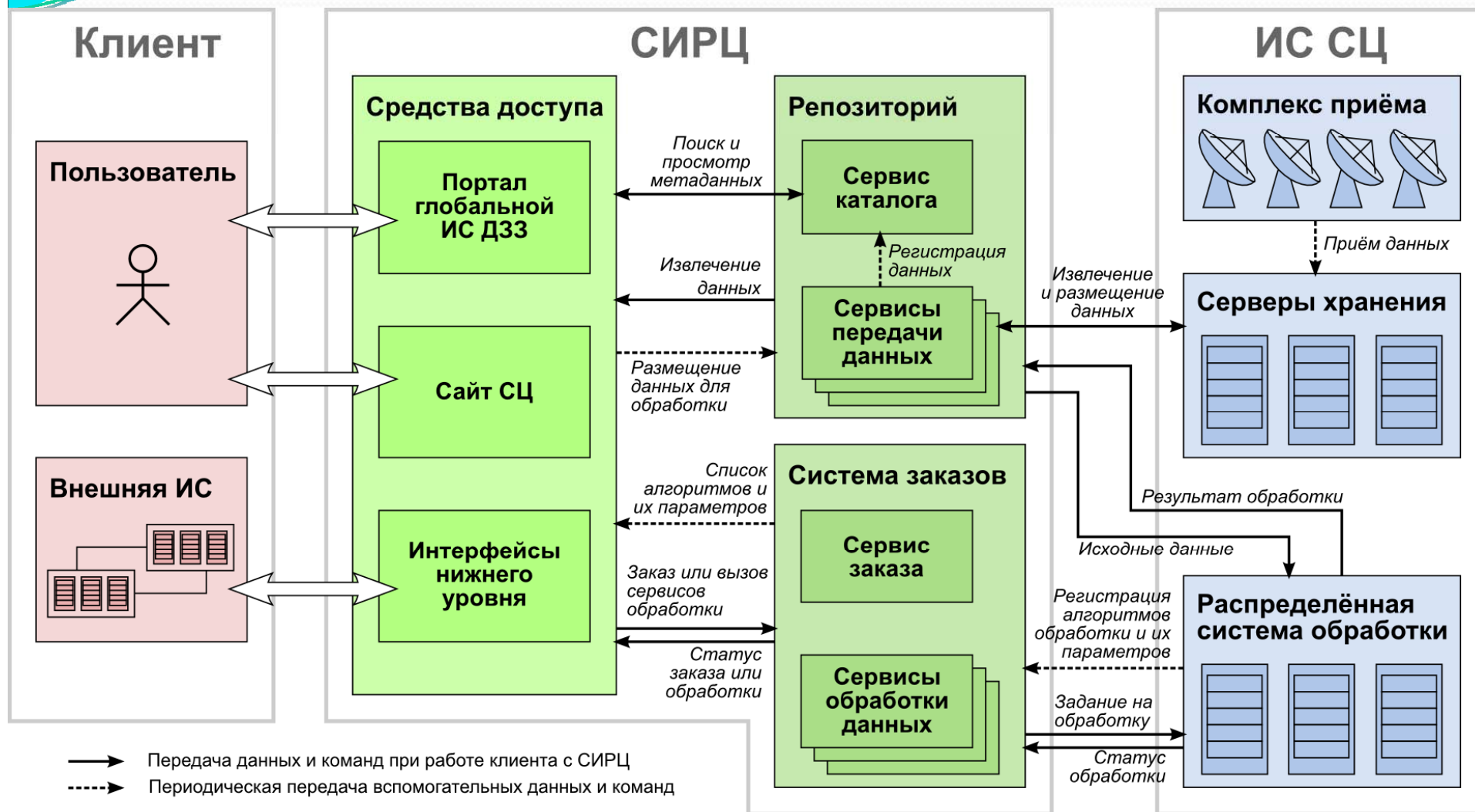
где Vt и Vn — тангенциальная и нормальная компоненты скорости относительно контура вихря, N — количество векторов скоростей.



Пример построения профиля скорости



Информационная система Спутникового центра ДВО РАН





Интеграция информационной системы СЦ ДВО РАН с внешними информационными системами

