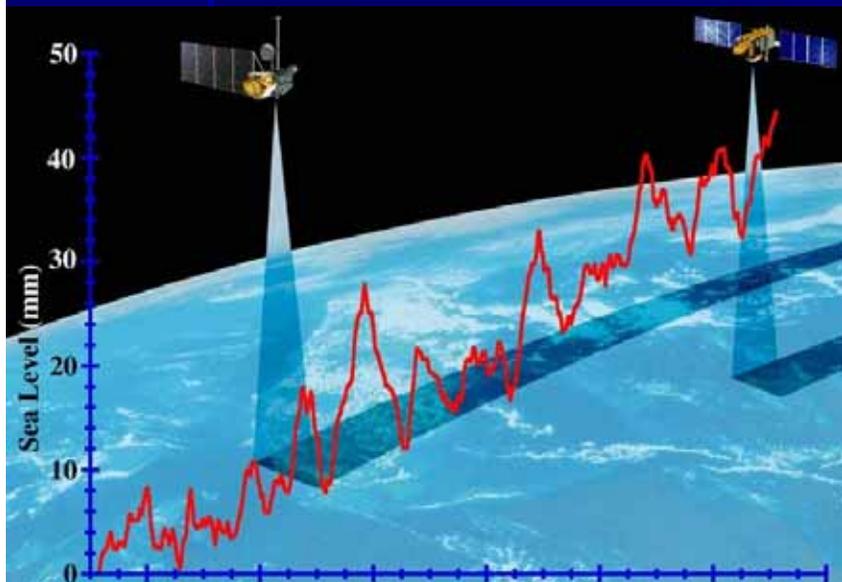


# Анализ поправок к геоиду при восстановлении абсолютной уровенной поверхности моря по альтиметрическим измерениям и полям термических структур



Центр коллективного пользования  
Регионального Спутникового Мониторинга  
Окружающей среды ДВО РАН

Алексанина М.Г., Алексанин А.И.  
Институт автоматки и процессов управления ДВО РАН  
690041, Владивосток, Радио 5, (4232)310468  
[margeo@satellite.dvo.ru](mailto:margeo@satellite.dvo.ru) [aleks@iacp.vl.ru](mailto:aleks@iacp.vl.ru)

Юбилейная Открытая Всероссийская Конференция  
«Дистанционное зондирование Земли из космоса»,  
Москва, 12-16 ноября 2007

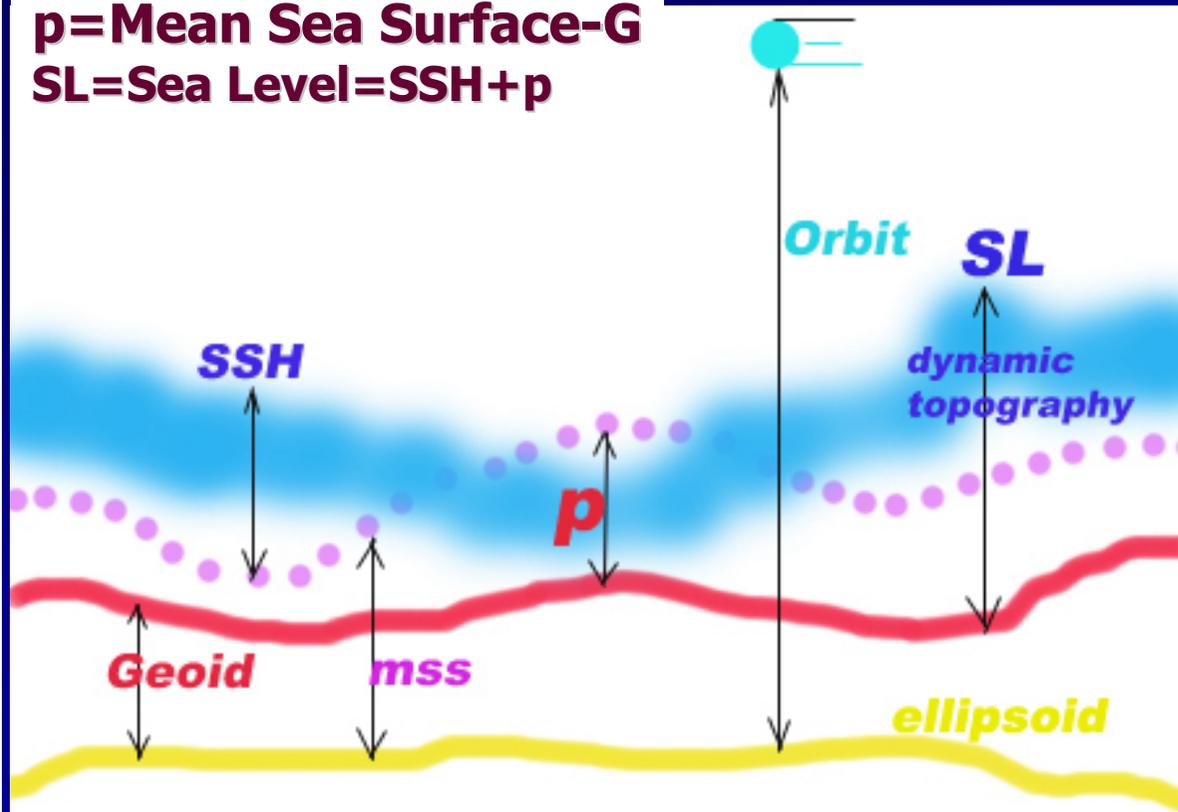
# Спутниковая альтиметрия

измерения, откорректированные на приливы, давление, инструментальные и атмосферные погрешности, характеризуются аномалией высоты морской поверхности **ssh** и средней высотой поверхности **mss**

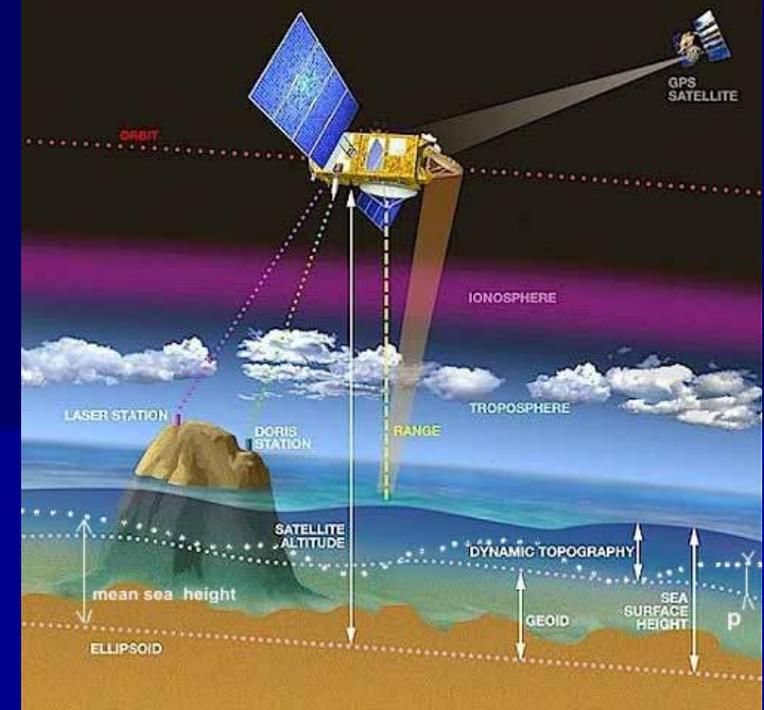
**G**=Geoid-Ellipsoid

**p**=Mean Sea Surface-G

**SL**=Sea Level=**SSH**+**p**



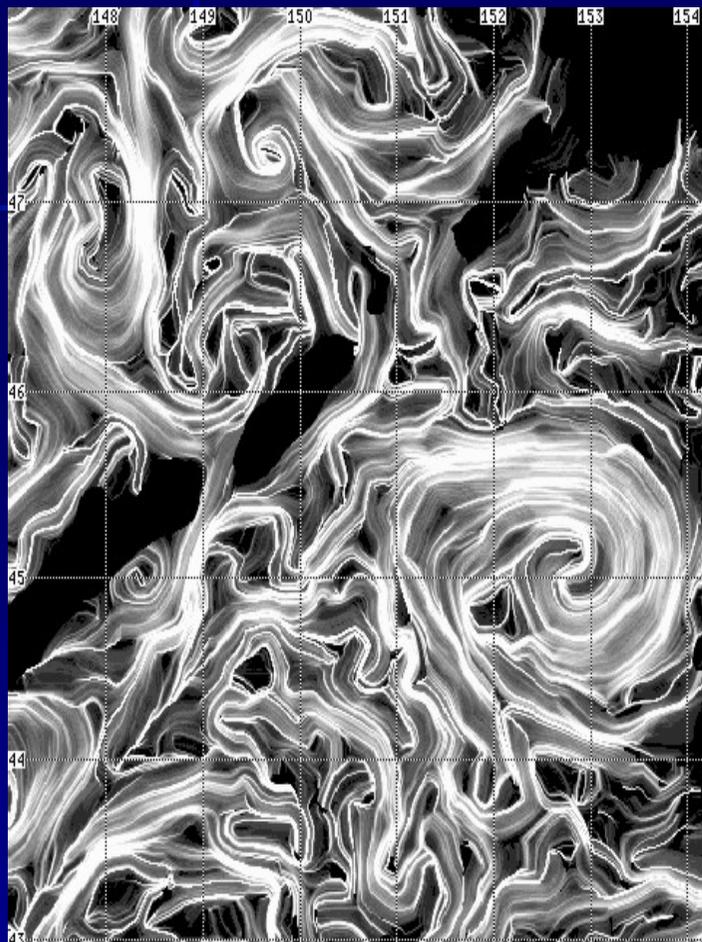
Абсолютная уровенная поверхность  
 $SL = ssh + p$



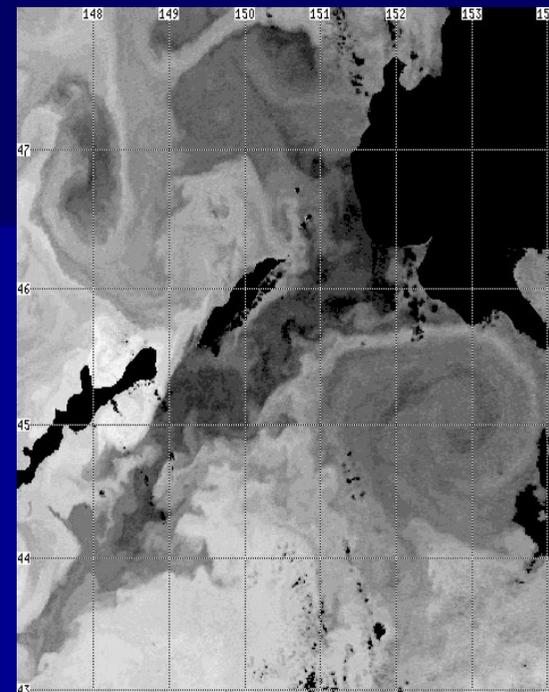
$$\underline{ssh = orbit - mss + p},$$

**p** – поправки, обусловленные различными искажающими факторами. Альтиметрическая среднеуровенная поверхность **mss**, откорректируемая на поправки **P**, и формируют геоид **G** Земли.

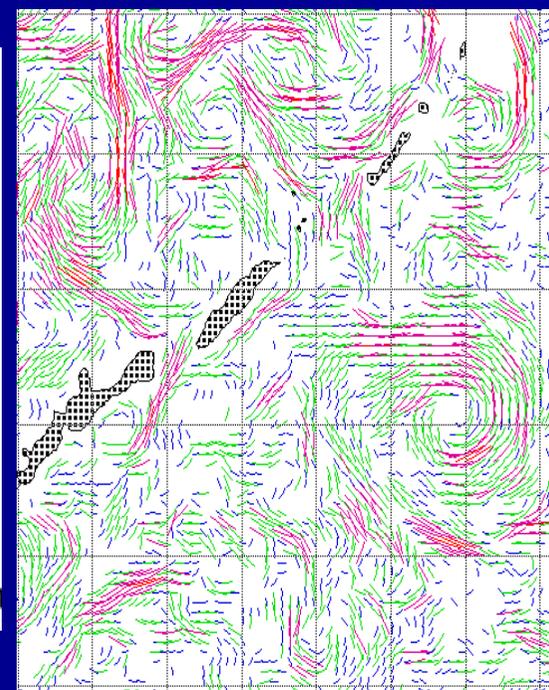
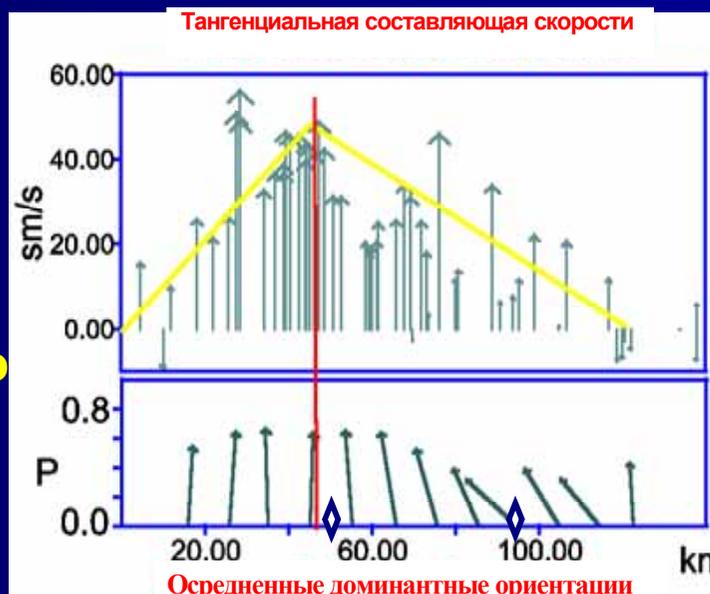
# ЛИНИИ ТОКА на ОСНОВЕ ДОТК



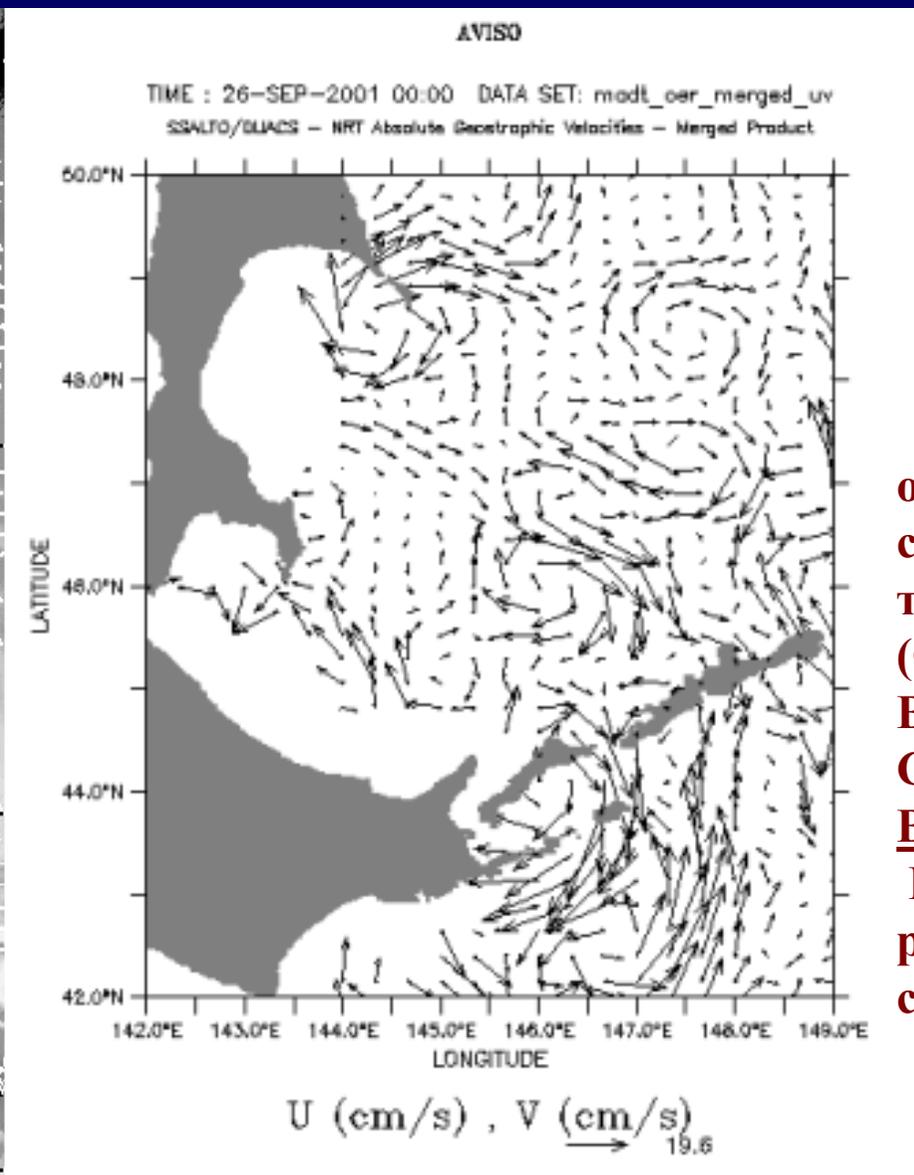
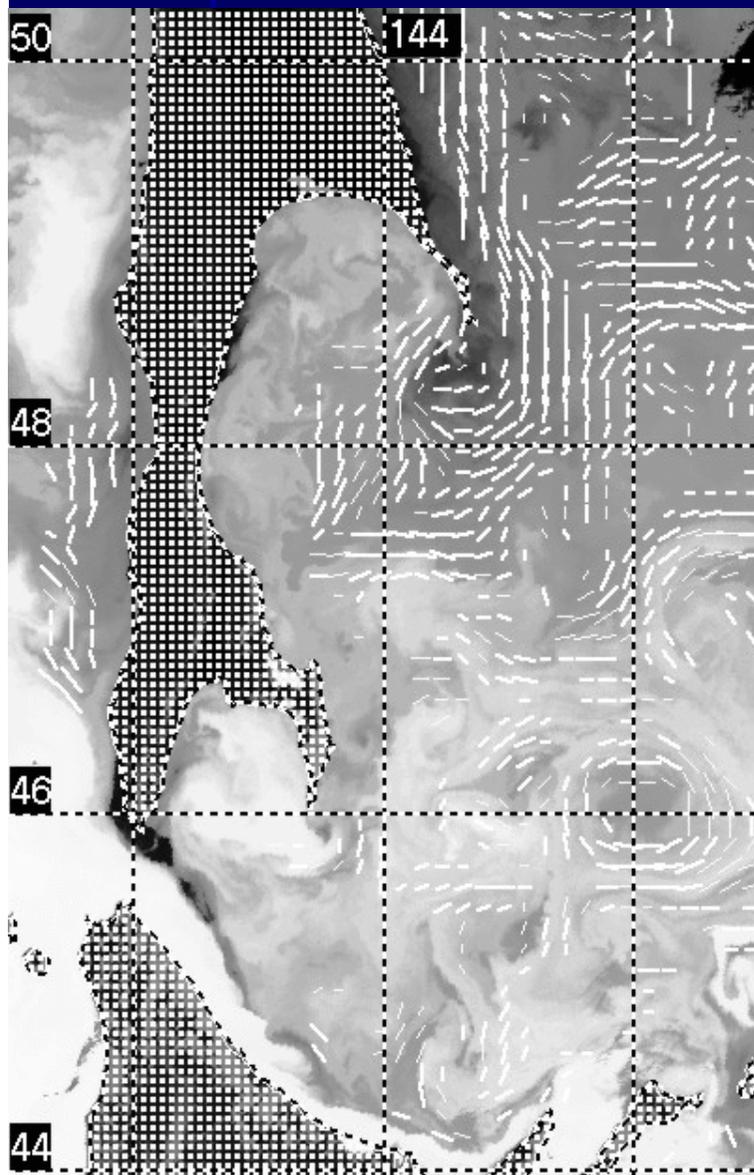
**Интегральные линии тока**, строящиеся по полям ДОТК, можно рассматривать как **линии уровня на поверхности моря**, вследствие высокой корреляции ориентаций ДОТК с направлениями скоростей поверхностных течений (Алексанин А.И., Алексанина М.Г., Горин И.И. Спутниковые ИК-изображения: от термических структур к полю скоростей. // Исслед. Земли из космоса. 2001. № 2. С. 7-15.)  
(сравнение с судовыми скоростями и данными спутниковой альтиметрии)



**Яркость** пикселя строящегося изображения – это **количество интегральных кривых**, прошедших через него. Чем выше яркость, тем выше плотность линий тока.



# Артефакты альтиметрических полей -



**отсутствие  
стационарных  
течений  
(Соя, Ойясио,  
Восточно-  
Сахалинское)  
Вывод.  
Геоид в данном  
районе не определен  
с нужной точностью.**

ИК-изображение за 30.09.01  
с картой ДОТК

Карты альтиметрических оценок поля скорости по  
абсолютной уровенной поверхности сайт AVISO

# ПРОБЛЕМА

Чтобы по альтиметрическим измерениям получить оценки циркуляции моря требуется решение двух проблем

- – восстановление геоида Земли с точностью 2-3 см ;
- – пространственно-временная интерполяция данных на сетку, размер ячейки которой существенно меньше соответствующих характеристик исходных данных.

Отсутствие точного геоида приводит к необходимости работать с альтиметрическими аномалиями, что в районах, где наблюдаются устойчивые течения и вихри, не позволяет корректно оценивать скорости поверхностных течений

# ПОДХОД

Расчет поправок к геоиду на основе совместного анализа спутниковых альтиметрических данных

и линий уровня тока,

*построенных по рассчитанным полям*

*пространственно-временных композиций ДОТК*

*(доминантных ориентаций термических контрастов)*

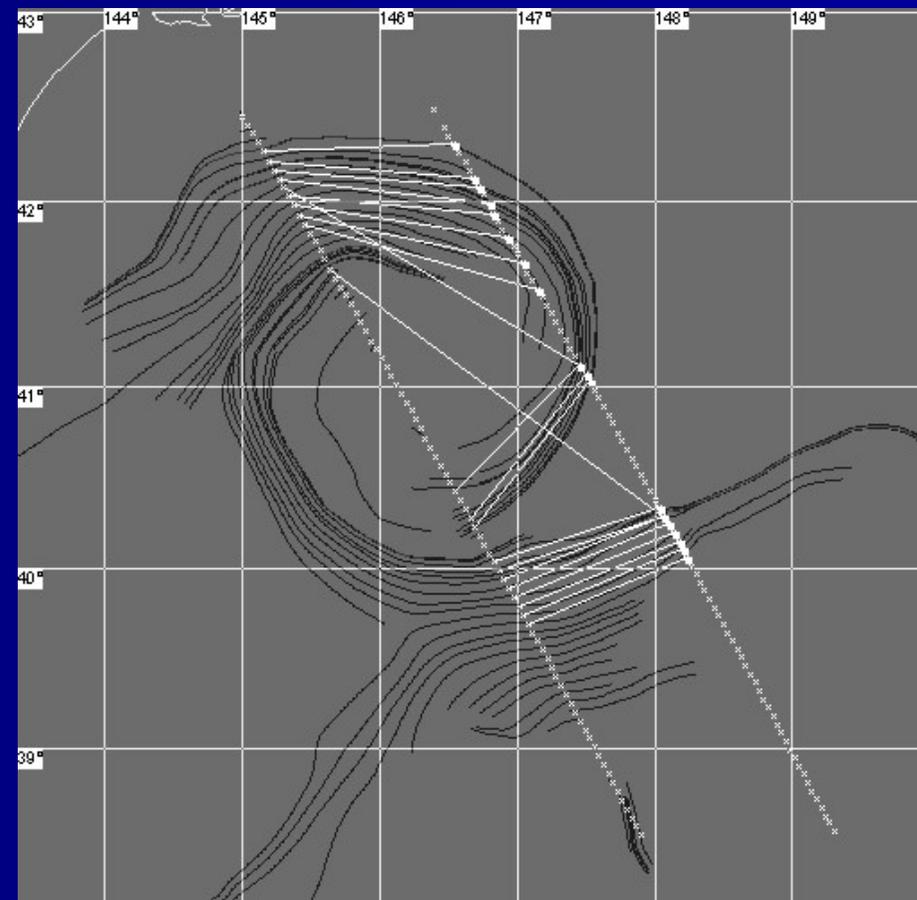
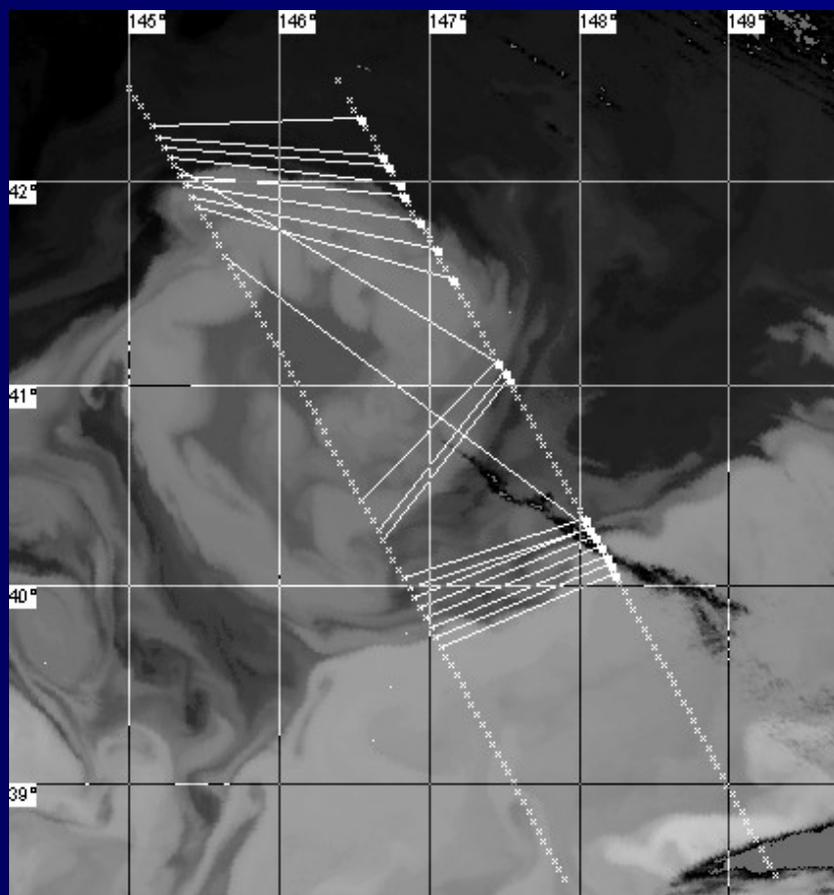
*яркости спутниковых изображений.*

Считаем, что

1. На линии тока абсолютная высота уровенной поверхности SL везде постоянна, выполняется геострофический баланс!

Т.е. для точек линий тока на поверхности моря, соединяющих квазисинхронные альтиметрические трассы, выполняется соотношение  $ssh1+P1=ssh2+P2$ , где  $ssh1$  и  $ssh2$  – аномалии высот,  $P1$   $P2$  – поправки к геоиду

Тогда из 1. =>2. Линии тока позволяют экстраполировать значения уровенных высот на окрестную акваторию.



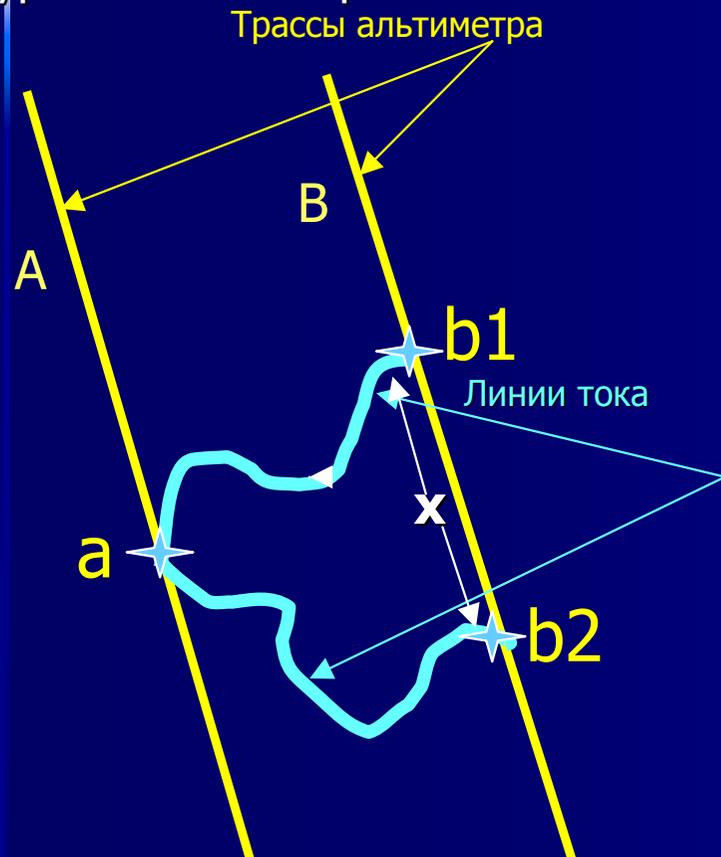
Вихрь и «линии тока» карты термических структур моря за апрель 2004г.

Отмечены переходы по линиям тока с одной трассы на другую

# ПРОИЗВОДНАЯ ПОПРАВКОК К ГЕОИДУ

**Постулат:** точки линии тока, соединяющие две соседние квазисинхронные трассы альтиметра, должны иметь одинаковую высоту уровенной поверхности **SSH** при выполнении геострофического баланса  **$ssh1+P1=ssh2+P2$** .

**Подход:** имея набор таких линий для заданных трасс альтиметра в различные интервалы времени, можно найти производные поправок **p** к аномалиям высоты уровенной поверхности **ssh**.



**Точка a с трассы A**  
переходит в разные по времени  
точки **b1** и **b2** трассы B  
по линиям тока

$$SSH_{a1} + P_a = SSH_{b1} + P_{b1}$$

$$SSH_{a2} + P_a = SSH_{b2} + P_{b2}$$

->

$$SSH_{a1} - SSH_{a2} = SSH_{b1} - SSH_{b2} - (P_{b1} - P_{b2})$$

->

$$P_{b1} - P_{b2} = SSH_{b1} - SSH_{b2} - (SSH_{a1} - SSH_{a2})$$

$$p(b1) - p(b2) =$$

$$ssh(b1) - ssh(b2) - (ssh(a1) - ssh(a2)),$$

т.е.  $\Delta_x P_b = \Delta ssh(B) - \Delta ssh(A)$

Интеграл  $\int \Delta_x p_b$  вдоль трассы  
покажет поправки к перепаду  
динамических высот на трассе.

# РЕЗУЛЬТАТЫ ПОДХОДА

**Предложенный подход был применен к спутниковым данным 2003-2004 г. для акватории северо-западной части Тихого океана с геострофическими течениями Ойясио, Субарктическим и Куроисио.**

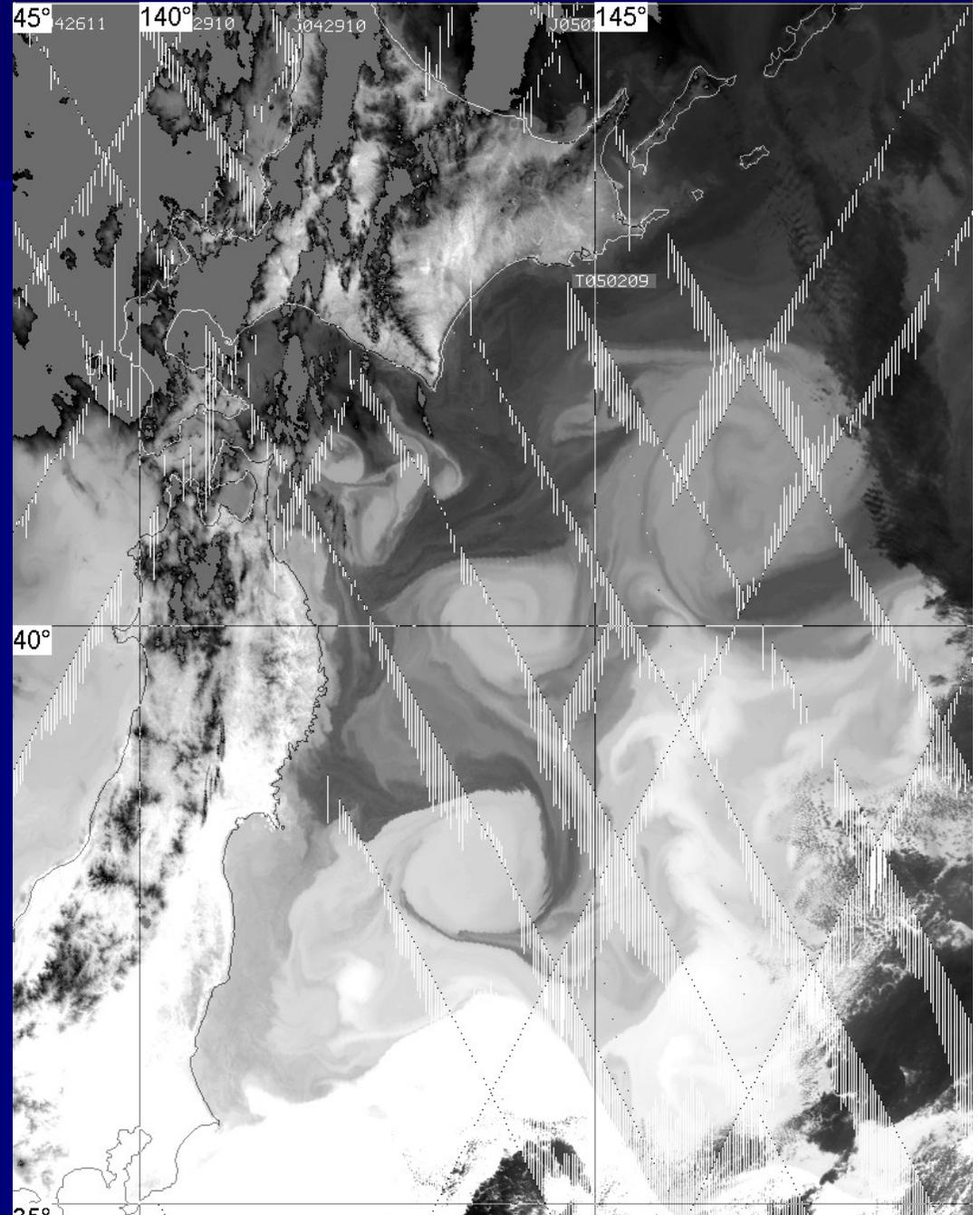
**Использовались**

**интегральные линии тока, построенные по 3-х дневным композициям ДОТК, соответствующим времени прохождения пар спутниковых трасс альтиметрии над открытой от облачности акваторией;**

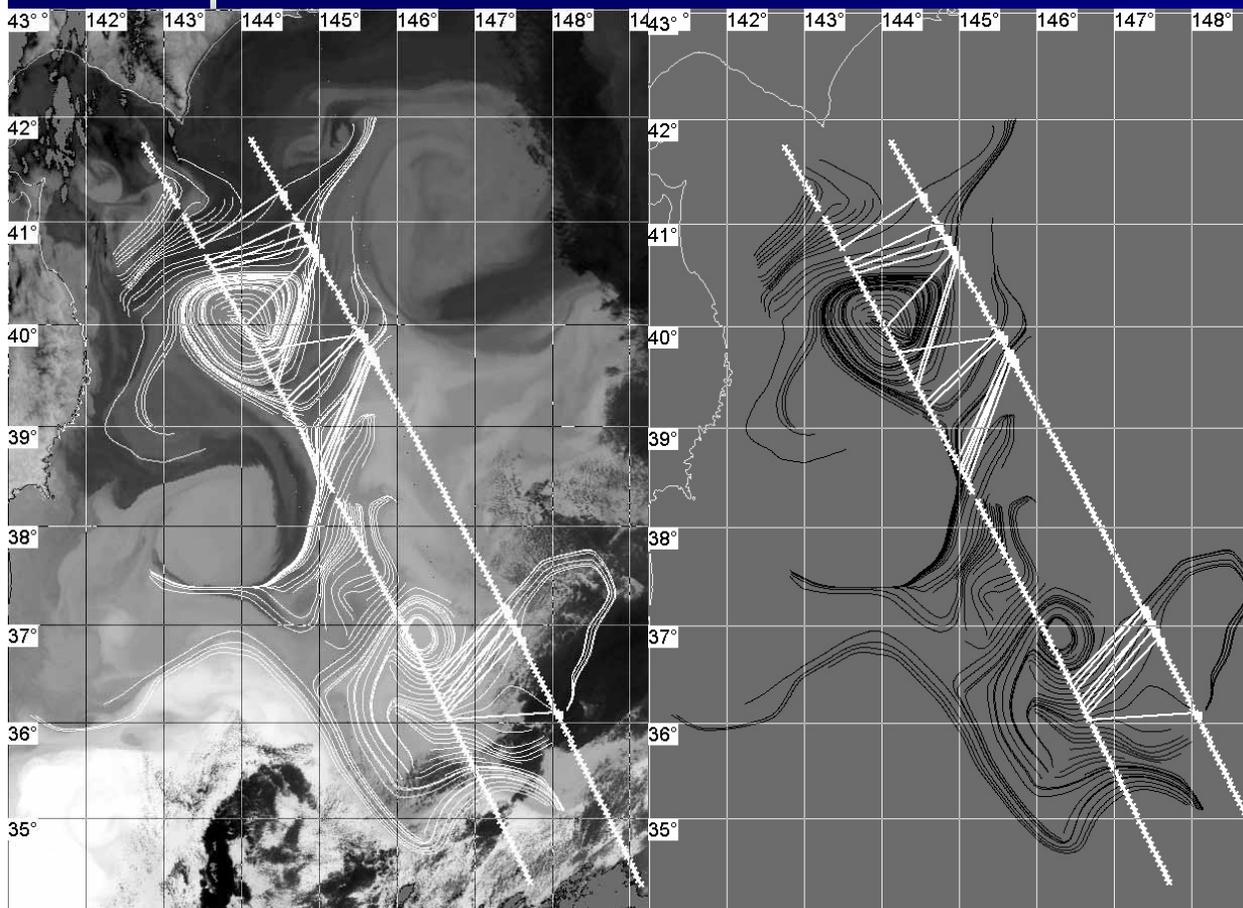
**альтиметрические данные за период с сентября 2003 по ноябрь 2004 гг. с квазисинхронных трасс спутников Jason-1 и Torex/Poseidon с межтрассовым расстоянием около  $1.25^\circ$  по долготе (рассматривалось 4 пары трасс в течение года)**

**Режим доступа <ftp://podaac.jpl.nasa.gov>**

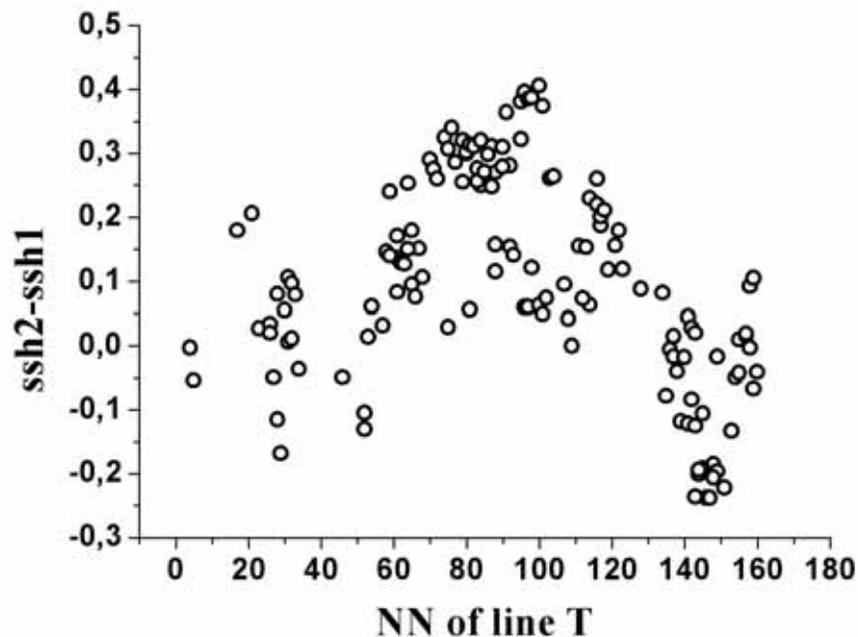
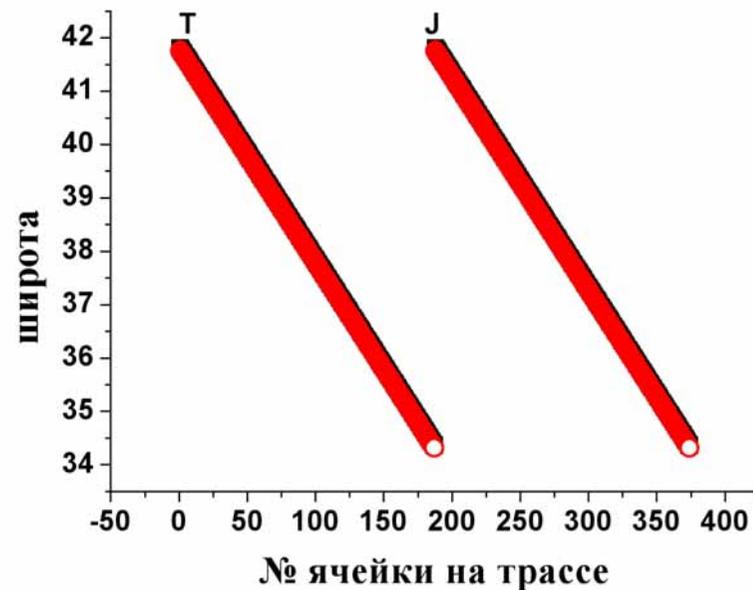
**Повторяемость трасс - 1 раз в 10 дней**



# Эксперименты для акватории северо-западной части Тихого океана и одна из исследуемых в течение 2003-2004 г. пар трасс Торех и Jason



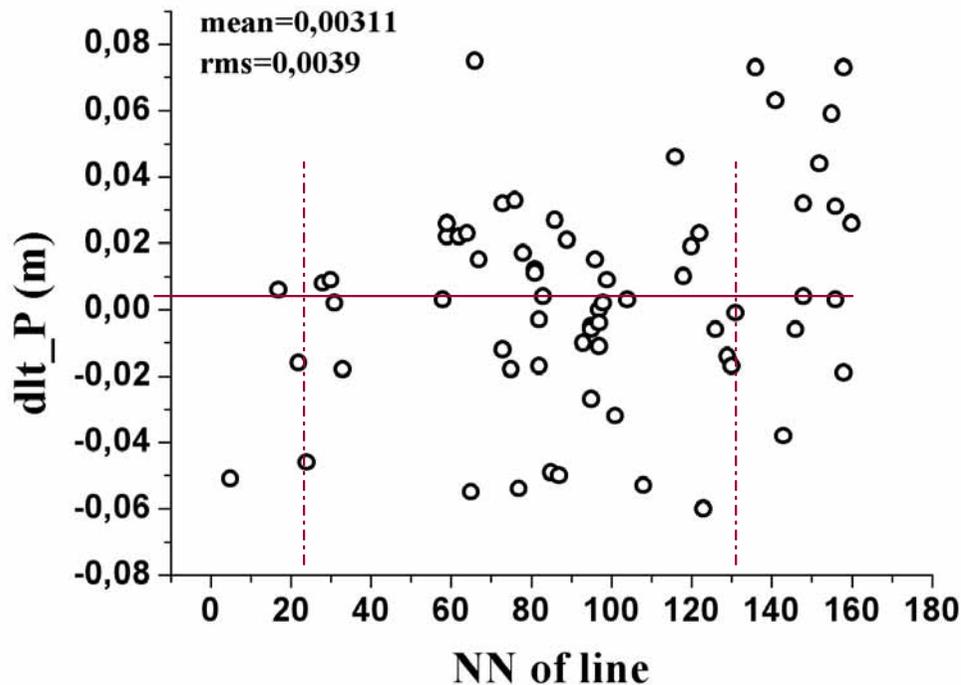
Разница аномалий на трассе Торех (Т)



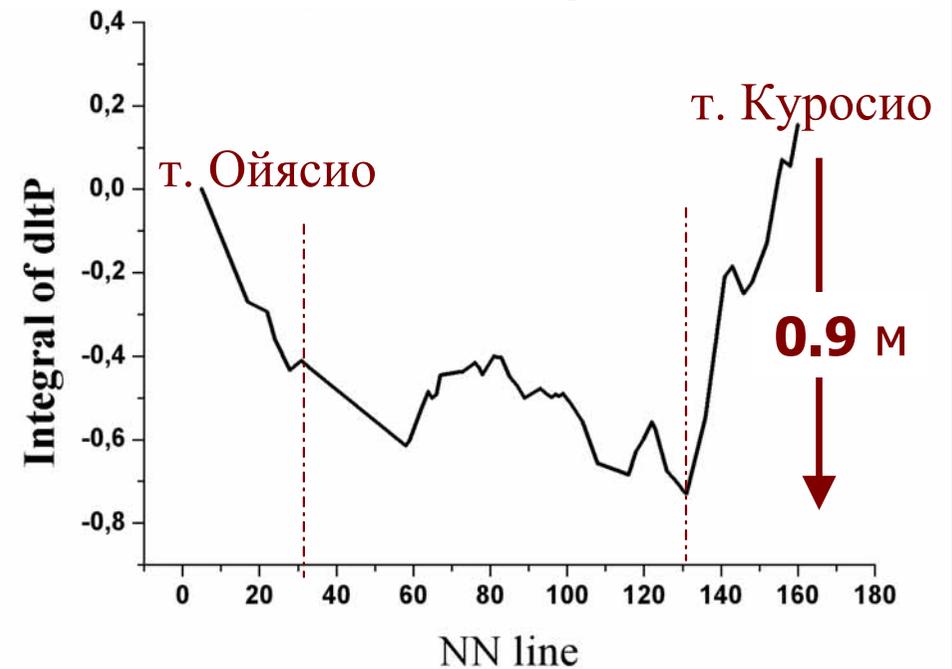
# Поправки одной трассы Торех северо-западной части Тихого

полученные по альтиметрическим данным за период с сентября 2003 по ноябрь 2004 г. включительно с квазисинхронных трасс спутников Jason-1 и Торех/Poseidon (<ftp://podaac.jpl.nasa.gov>)

## Вариации поправок для трассы Торех



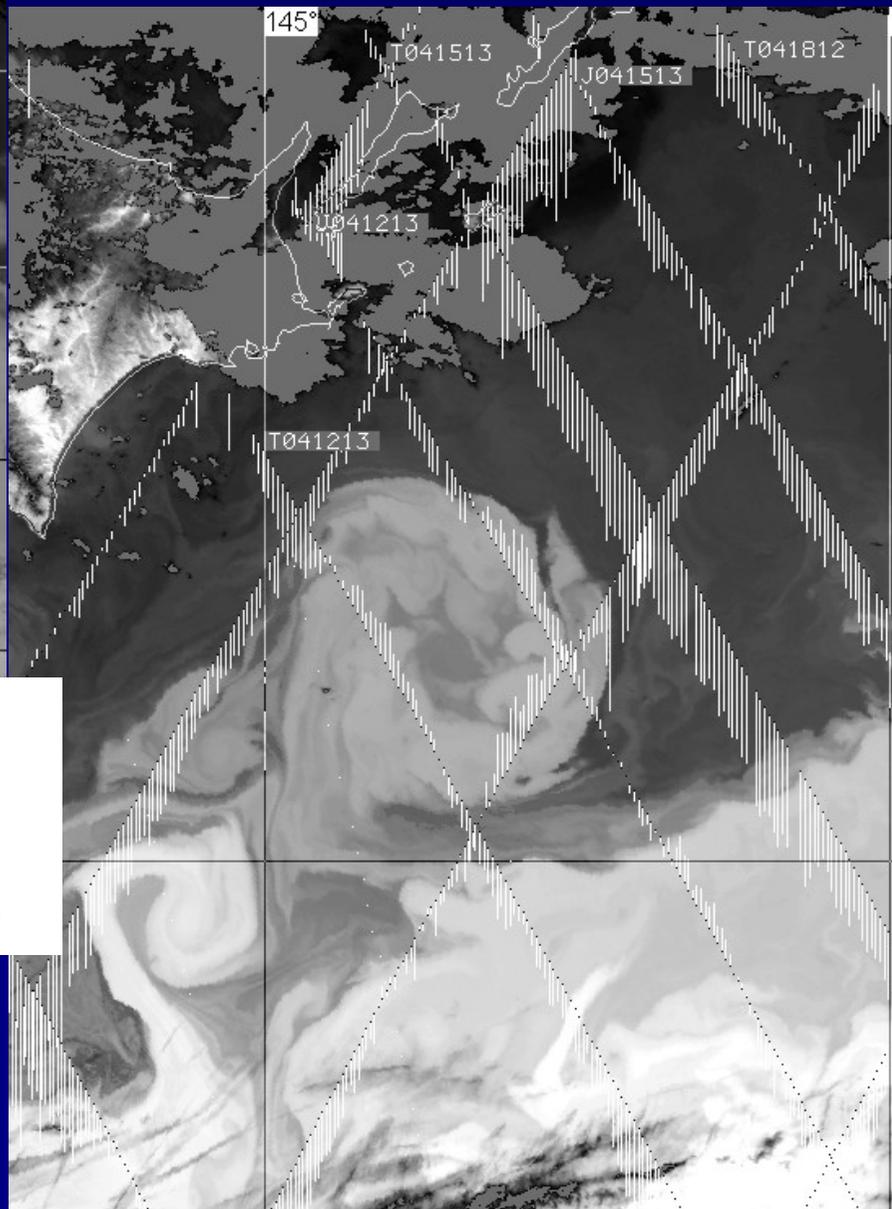
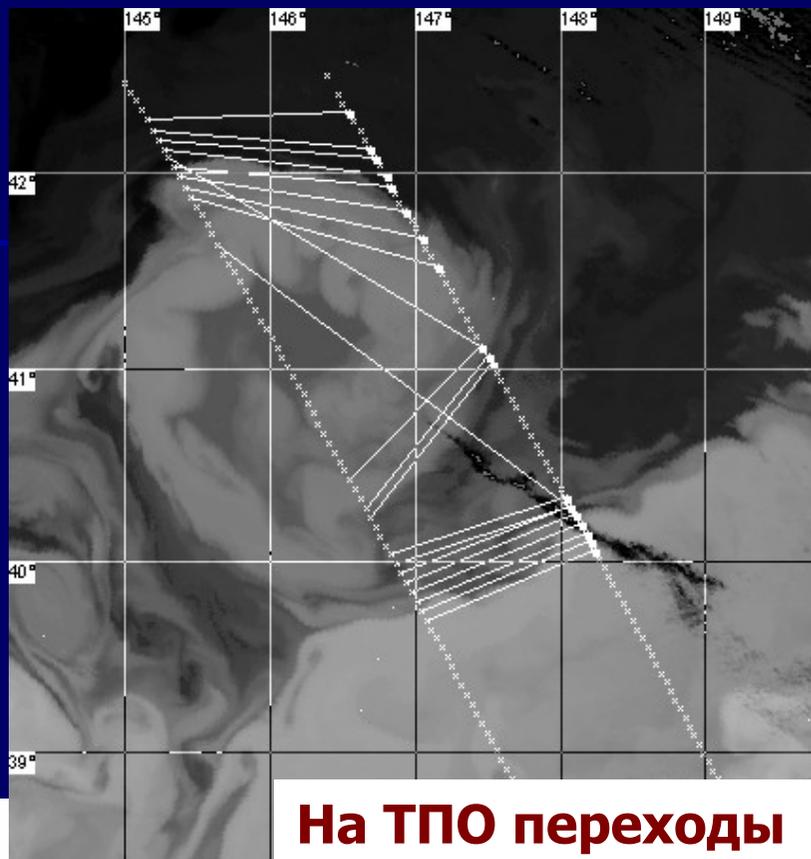
## Интеграл от производных поправок к геоиду для трассы Торех/Poseidon



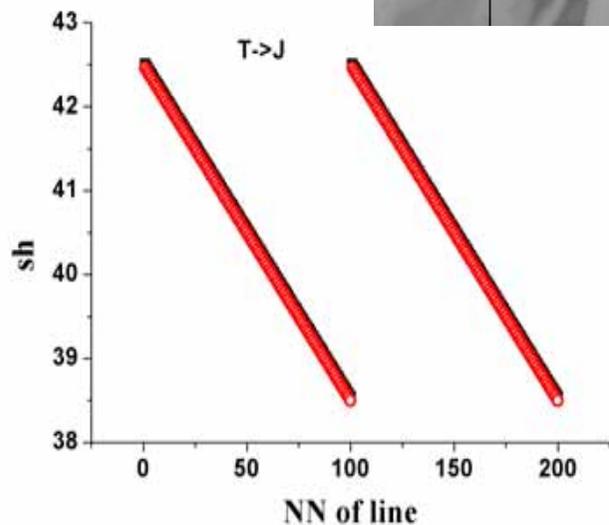
Скачок интегральной кривой соответствует перепаду на течении Курошио

# Вихрь юго-восточнее о.Хоккайдо 07.04.2004 г.

## ТПО и трассы альтиметра



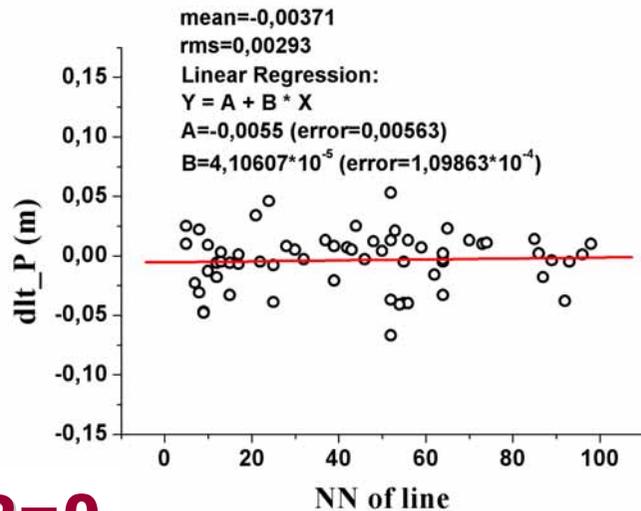
На ТПО переходы по линиям тока с трассы TOPEX (Т) на трассу Jason (J)



# Производные поправки к геоиду для вихря в океане

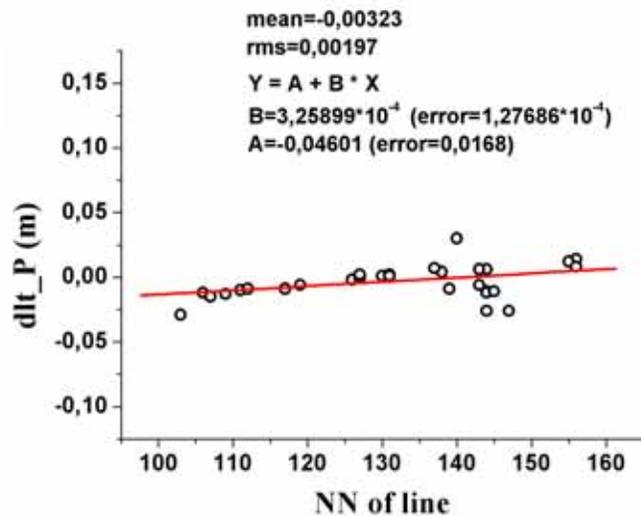
Линии тока можно использовать как изолинии уровня моря

T

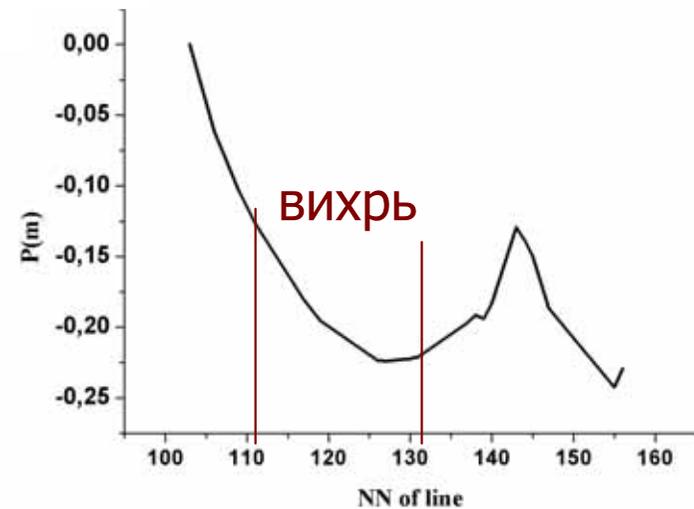
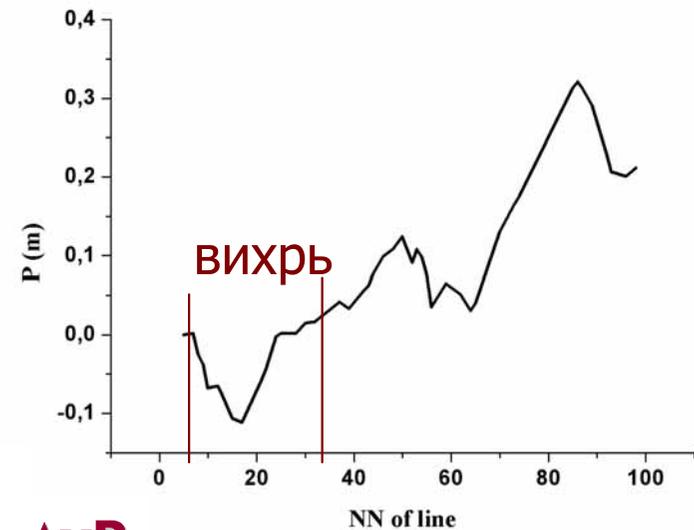


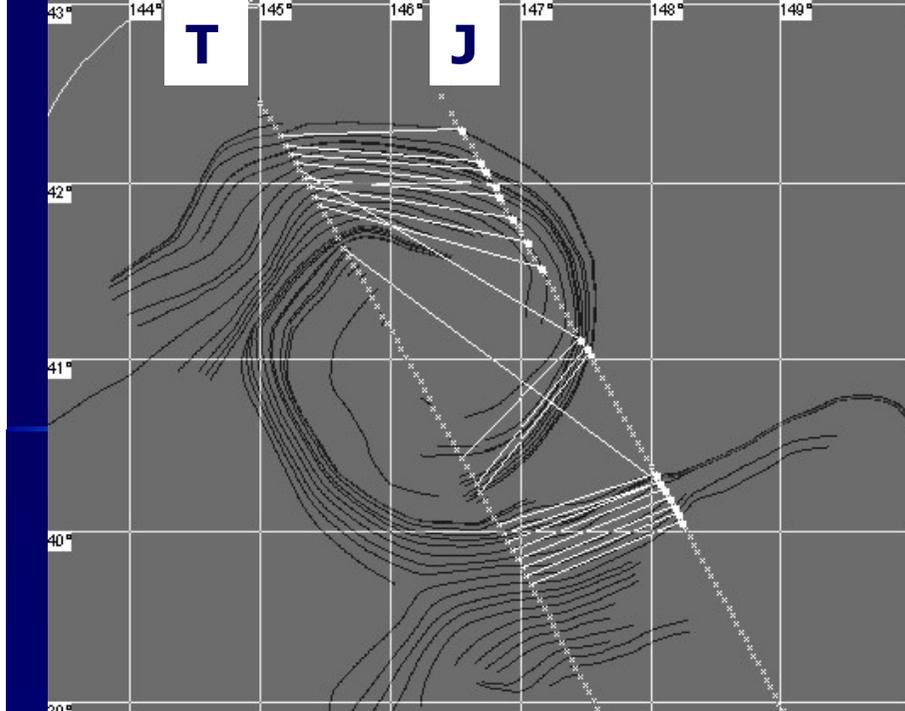
$\Delta xP = 0$

J

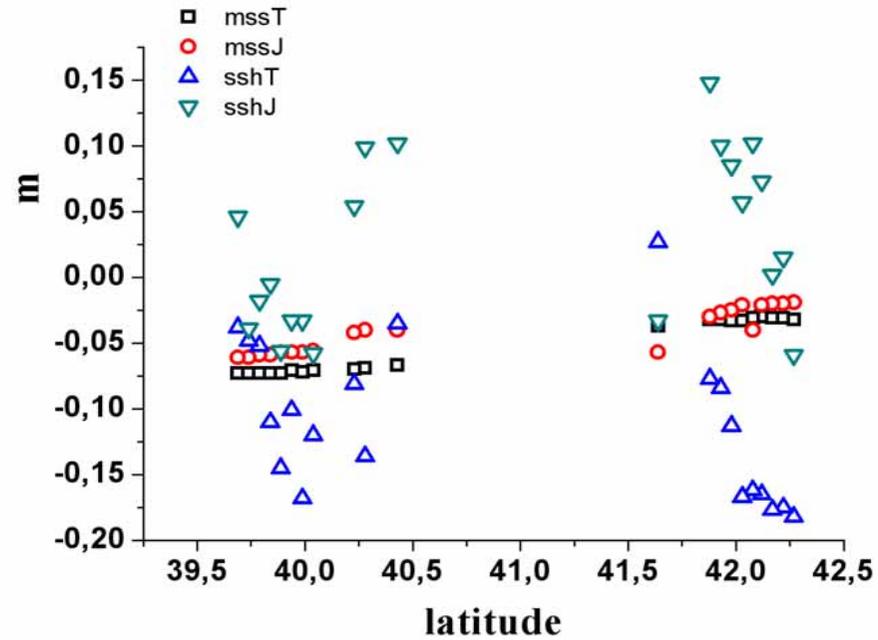


$\Delta xP$

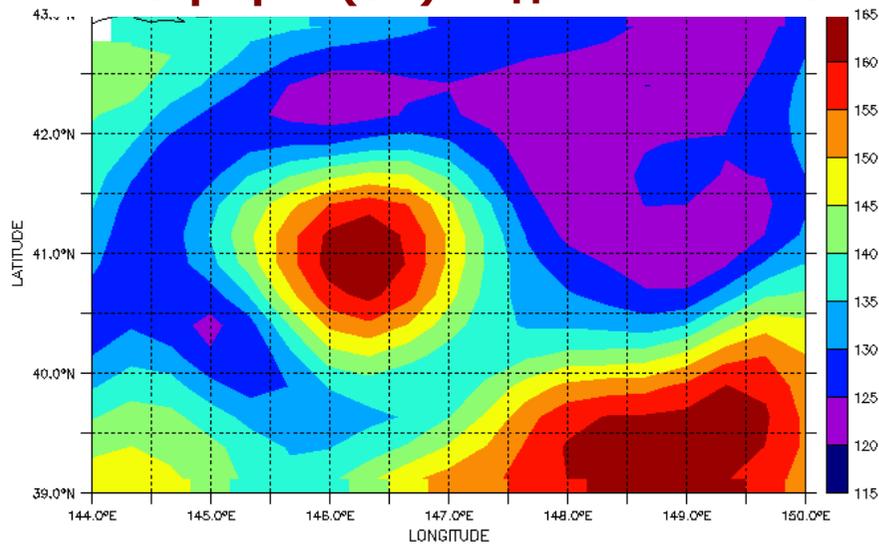




## Средняя уровенная поверхность mss и аномалии высот ssh



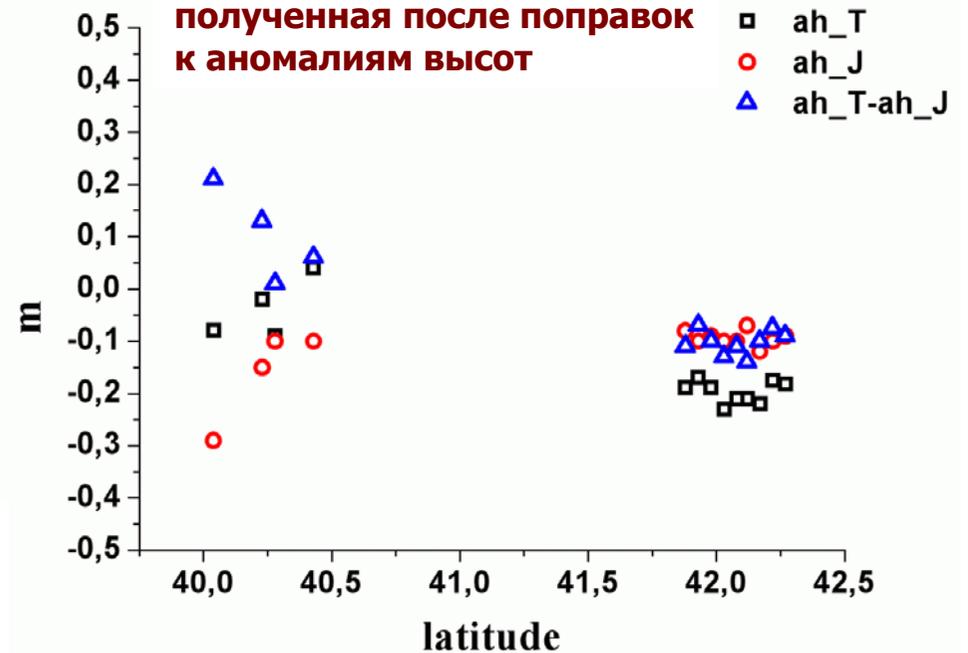
## Абсолютная динамическая топография (cm) по данным AVIZO



Maps of Absolute Dynam...

**Перепад на вихре до 40 см, разница аномалий около 20см, а после поправок <10 см**

## уровенная поверхность, полученная после поправок к аномалиям высот



# Заключение

- Полученные результаты показали, что интегральные линии тока, построенные по ДОТК, соответствуют изолиниям уровня моря
- Использование аномалий высоты уровня моря в качестве уровенной поверхности может приводить к значительным ошибкам даже для акваторий, где отсутствуют стационарные потоки.
- Поправки, полученные более чем за год по нескольким парам параллельных трасс Jason-1 и Torex/Poseidon, позволили получить интегральные характеристики поправок к альтиметрическим аномалиям на устойчивых синоптических течениях



Спасибо за внимание