

РАСЧЕТ ПЕРЕПАДА ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЫСОТЫ ПО СКОРОСТЯМ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ МОРСКИХ МАРКЕРОВ НА СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Александина М.Г., Загумёнов А.А.

*Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН,
Дальневосточный федеральный университет*

Владивосток, Россия

margeo@mail.ru



Институт космических исследований Российской академии наук

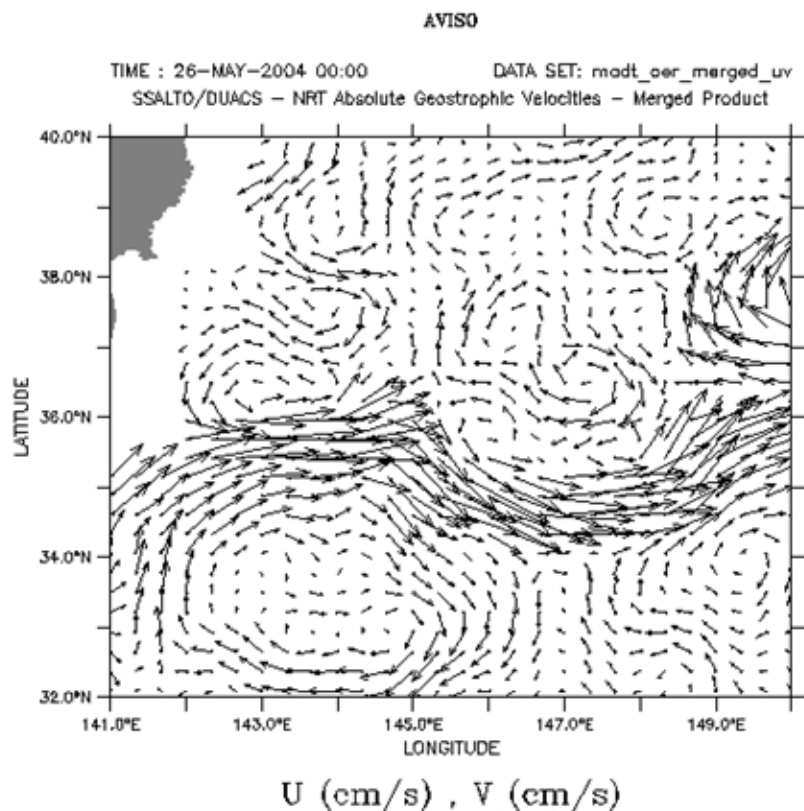
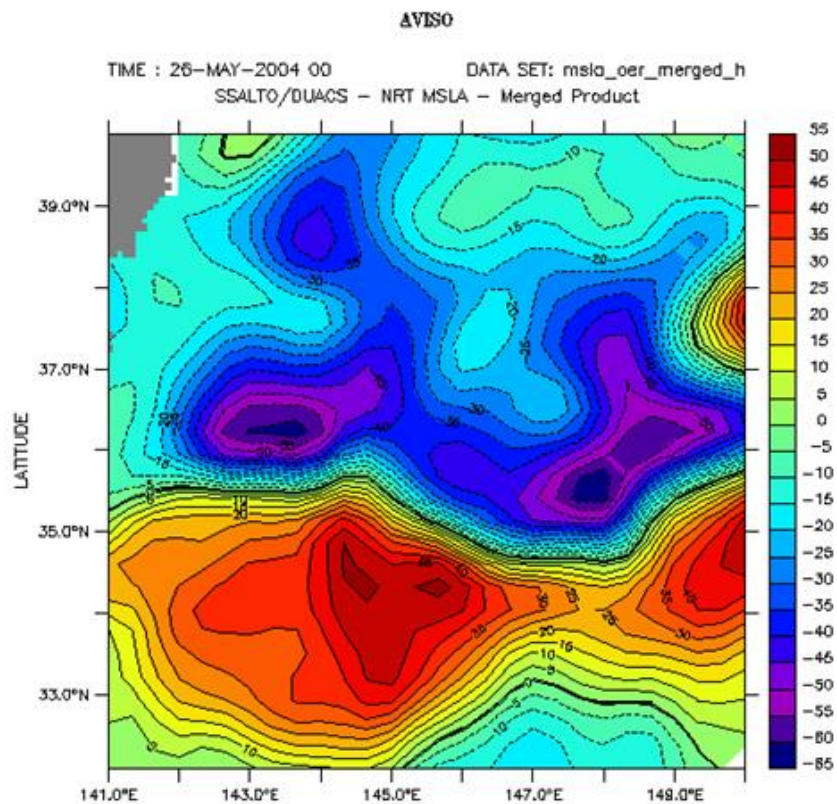
ВСЕРОССИЙСКИЕ ОТКРЫТЫЕ ЕЖЕГОДНЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ
"СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА"

(Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, природных
и антропогенных объектов)

Восемнадцатая Всероссийская
Открытая конференция
«Современные проблемы
дистанционного зондирования
Земли из космоса» ИКИ РАН
16 – 20 ноября 2020 г.



Данные спутниковой альтиметрии являются основой для получения оценок уровенной поверхности или динамической топографии, необходимой для построения скоростей поверхностных течений



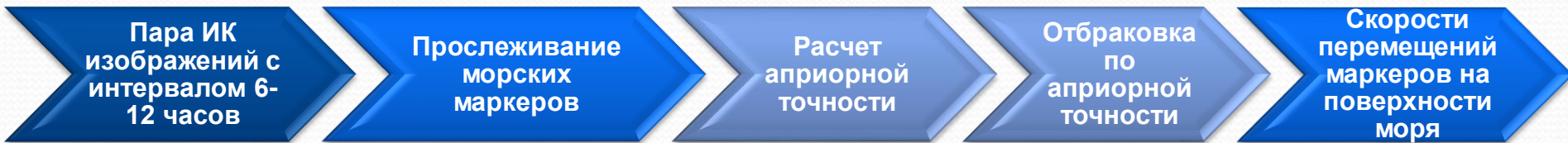
Альтиметрия

Перепад
уровенной
поверхности

Скорости
поверхностных
течений

Дополнением к альтиметрии является —

Расчет скоростей поверхностных течений на основе автоматического прослеживания термических неоднородностей (морских маркеров)*:



- базируется на оригинальном критерии сходства площадок;
- используется оригинальная методика оценка точности расчёта (критерий априорной точности) для процедуры фильтрации ложных векторов перемещений;
- используется иерархия площадок разных размеров;
- средняя ошибка автоматического расчёта составляет 5-9 см/с;

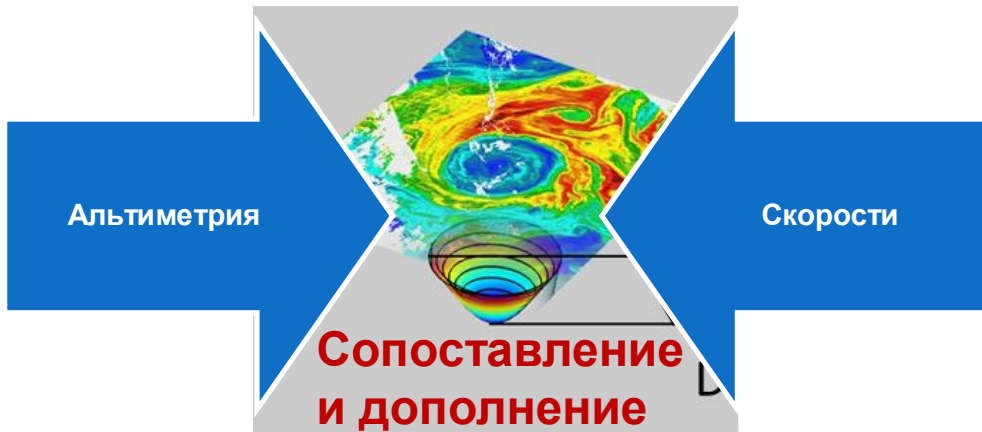
**Алексанин А. И., Алексанина М. Г., Карнацкий А. Ю. Автоматический расчет скоростей поверхностных течений океана по последовательности спутниковых изображений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2013. — Т. 10, № 2. — С. 131—142.*

Динамическая топография и скорости течений

Динамическая топография (ДТ= η) является более инертным параметром, характеризующим динамику океана, чем скорости поверхностных течений

Взаимодополнение:

Переход от скоростей поверхностных течений к ДТ и обратно с взаимной корректировкой должен восполнять картину при недостатке тех или иных данных.



Цель:

сравнить оценки перепада динамической высоты по скоростям течений, рассчитанными прослеживанием морских маркеров, с перепадом динамической высоты по данным спутниковой альтиметрии

Если известны скорости течений для установившихся геострофических течений, то можно оценить перепад динамической высоты - это обратная задача
Уравнения баланса сил в вихре (Гилл, 1986)*:

$$\kappa V_t^2 + fV_t = -g \frac{\partial \eta}{\partial n}$$

где

$1/\kappa$ – радиус кривизны (м^{-1});

V_t – тангенциальная скорость (м/с);

n – нормаль к скорости (м);

g – ускорение силы тяжести (м/с^2).

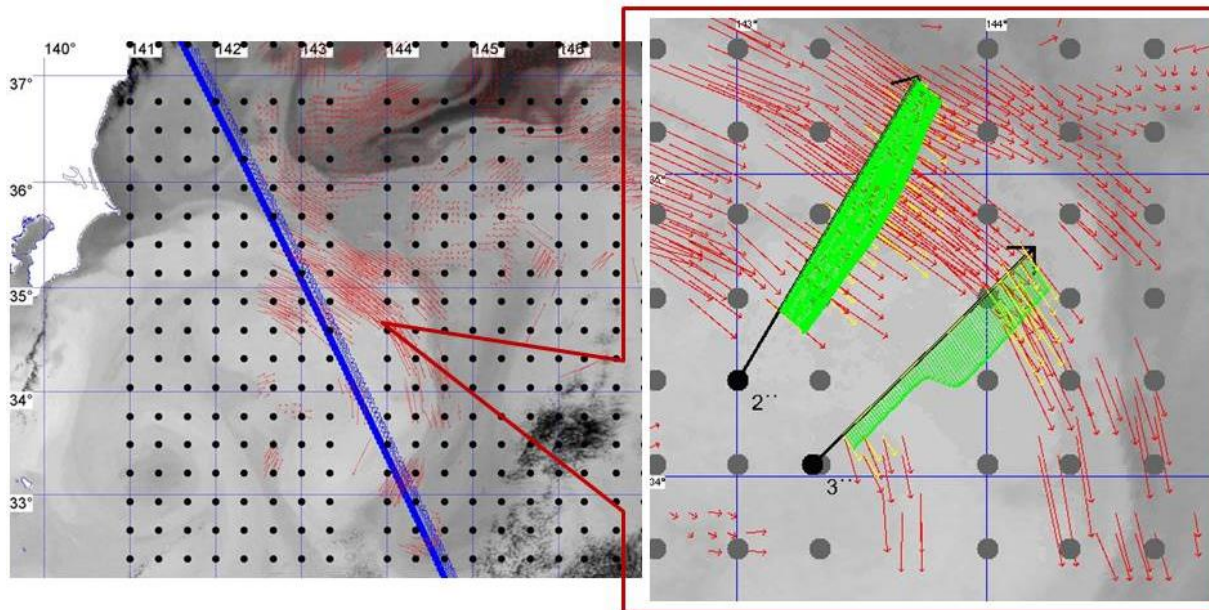
$$\Delta \eta = \frac{1}{g} \int_A^B (\kappa V_t^2 + fV_t) \partial x$$

*Гилл А. Динамика атмосферы и океана. Том 1. М.: Мир. 1986. 396 с.

Алгоритм расчета перепада ДТ по скоростям

1. Задаются координаты начала и конца отрезка-профиля

2. Скорости (красные вектора) раскладываются на ортогональную (желтого цвета) компоненту к линии профиля и компоненту вдоль линии профиля



3. Ортогональные составляющие скорости к линии разреза интерполируются на неравномерной сетке с использованием сглаживающей функции Гаусса.

Расчет средней скорости на интервале производится по формуле (*), где Vt_i — ортогональная компонента скорости соответствующего перемещения, нормированная на значения весовой функции точек; α_i — весовая функция; r_i — расстояние от i -ой точки на разрезе.

$$(*) \quad \bar{V} = \sum_{r_i \in R} Vt_i \cdot \alpha_i \quad \alpha_i = \frac{e^{-r_i^2}}{\sum_{r_i \in R} e^{-r_i^2}}$$

4. Интегрирование на равномерной сетке осуществляется по формуле средних прямоугольников (**), где x — шаг сетки в м/с, n — количество интервалов.

(**)

$$\frac{f}{g} \int Vt_s dx = \frac{f}{g} \sum_{i=1}^n \bar{V}t_{si} \cdot x$$

5. На выходе выдается рассчитанный перепад динамической топографии.

Данные и их отбор

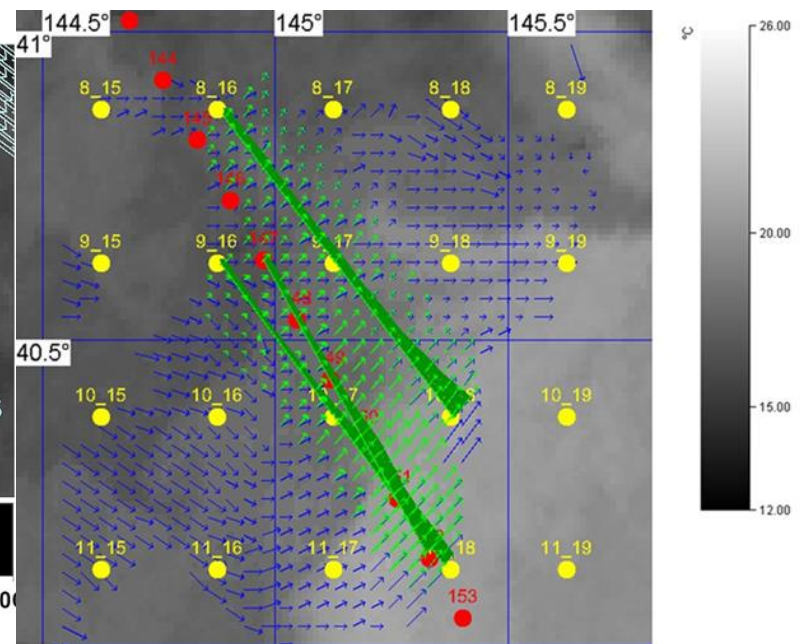
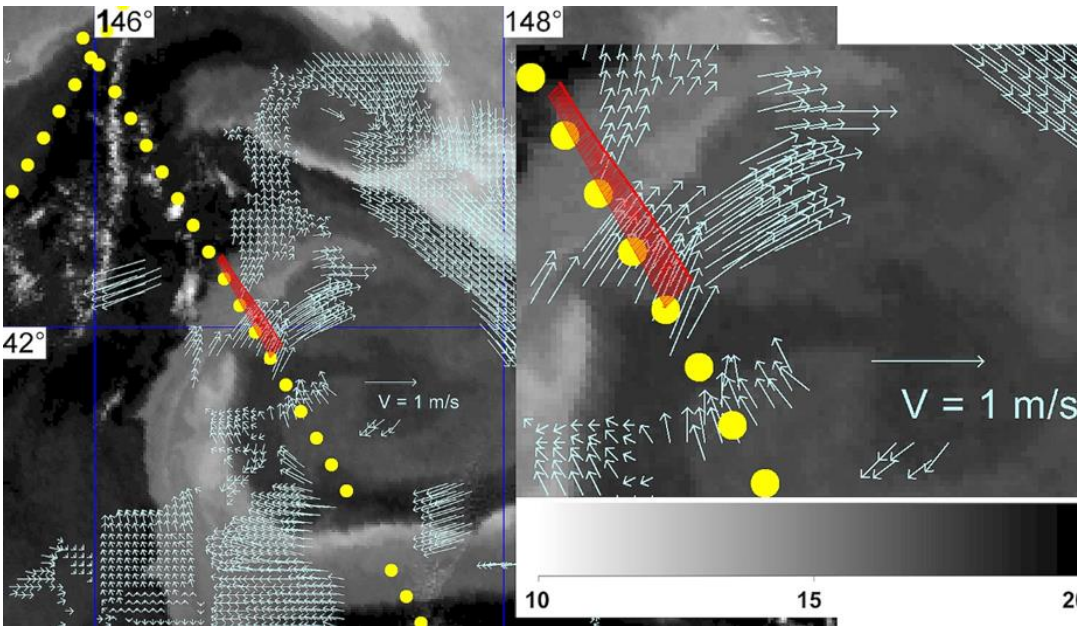
- Как **полигон** был выбран северо-западной **участок геострофического течения Куроисио**.
- Данные спутниковой альтиметрии были выбраны за **2004, 2005** годы, когда проводился международный эксперимент **KESS**. А также за последние два года - **2019 и 2020**.
- Необходимо было подобрать такое **сочетание пар спутниковых изображений в ИК диапазоне**, чтобы участки акватории были открыты от облачности, чтобы интервал времени был не больше полусуток, **чтобы время съемки в ИК диапазоне было близко (не больше суток) по времени к трассам спутниковой альтиметрии**. Таких пар нашлось мало. За 2004-2005 годы 7 пар, за 2019-2020 годы 6 пар.
- Для 2004-2005 годов данные альтиметрии брались на сайте AVISO (<http://www.aviso.oceanobs.com/en/data/products/sea-surfaceheight-products/global/index.html>), а для 2018-2020 на сайте Службы мониторинга морской среды проекта Copernicus (**Copernicus Marine Environment Monitoring Service ,CMEMS**) (<http://marine.copernicus.eu/>)
- **Разрезы** выбирались так, чтобы **поток скоростей был достаточно когерентным**, без поворотов , ширина полосы сбора векторов выбиралась тоже из условия когерентности потока – примерно 10 км по обе стороны от линии профиля. Характерный радиус вихревых структур был 70 - 120 км. Средняя скорость в потоках 40-50 см\сек.
- **Сравнение** перепадов динамических высот, рассчитанных по скоростям перемещений морских маркеров, проводилось с данными спутниковой альтиметрии непосредственно **с вдольтрековыми измерениями** (уровень обработки L3) и **экстраполированными на регулярную сетку** (уровень обработки L4), (разрешение 14 км и 0,25° соответственно).

Сравнение перепадов динамических высот, рассчитанных по скоростям перемещений морских маркеров, с измерениями на треках и на регулярной сетке

на треке

Отдельные эксперименты

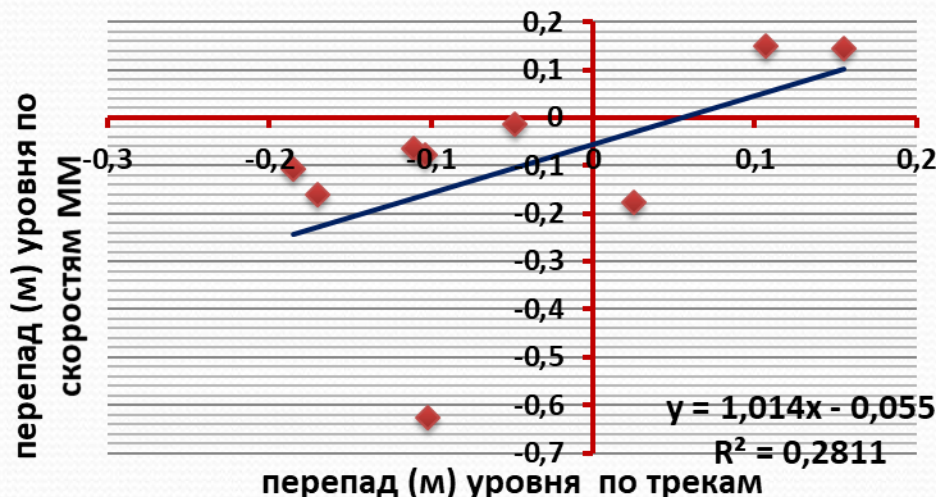
на сетке



Профиль ортогональных составляющих (**красным цветом**) скоростей перемещений морских маркеров (**голубым цветом**) на отрезке поперек фронта синоптического вихря в северо-западной части Тихого океана за **29 сентября 2005 года**, **желтые точки** – данные спутниковой альтиметрии на треке за **30 сентября 2005 года**.

Профиль ортогональных составляющих (**зеленые**) скоростей перемещений морских маркеров (**синим**) на отрезке поперек фронта в северо-западной части Тихого океана за **15 сентября 2004 года**, спутниковая альтиметрия на регулярной сетке (**желтым**) и на треке (**красным**) за **15 сентября 2004 года**

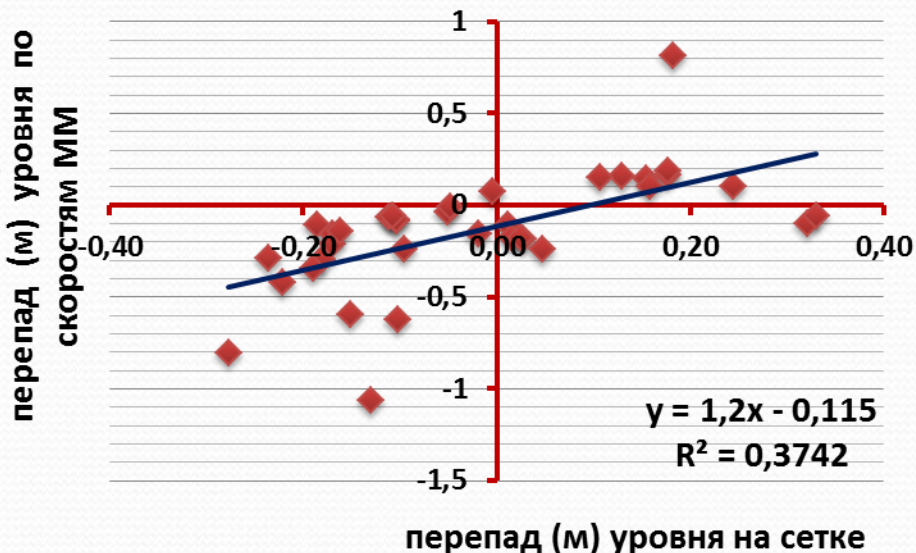
Сравнение перепадов динамических высот, рассчитанных по скоростям перемещений морских маркеров, с измерениями на треках и в узлах регулярной сетки по данным за 2004-2005 годы.



Value	Error
-0,055	0,075
1,014	0,613

Вдоль треков наблюдается наклон **1.0** со стандартным отклонением **0.19**.

Статзначимость результата невысокая т.к. мало данных

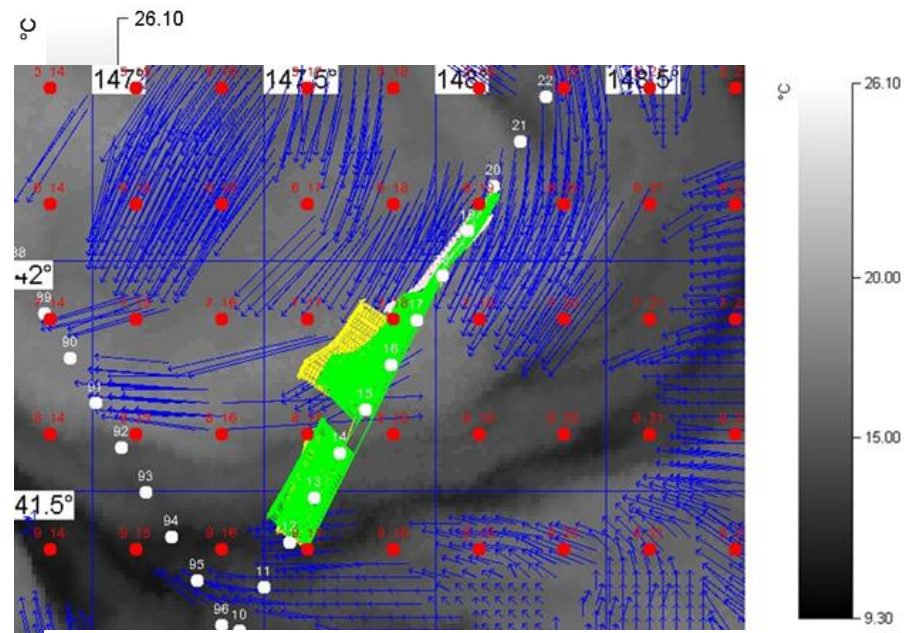
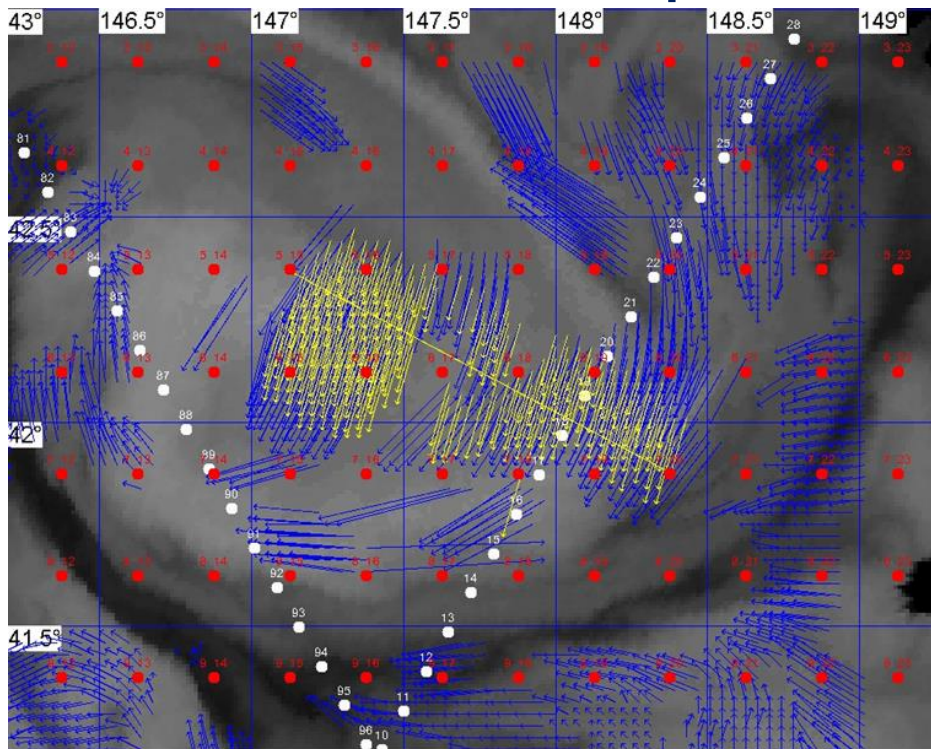


Value	Error
-0,115	0,043
1,2	0,266

В узлах регулярной сетки наблюдается наклон **1.2** со стандартным отклонением **0.25**

Сравнение перепада динамических высот, рассчитанных по скоростям перемещений морских маркеров, с альтиметрическими измерениями в узлах регулярной сетки на одном примере

ИК изображение и трек за 2004-08-26



Перепад (м)

на треке

по скоростям

-0,048

-0.0127

0,155

0.144

0,107

0.150

Перепад (м)

в узлах сетки

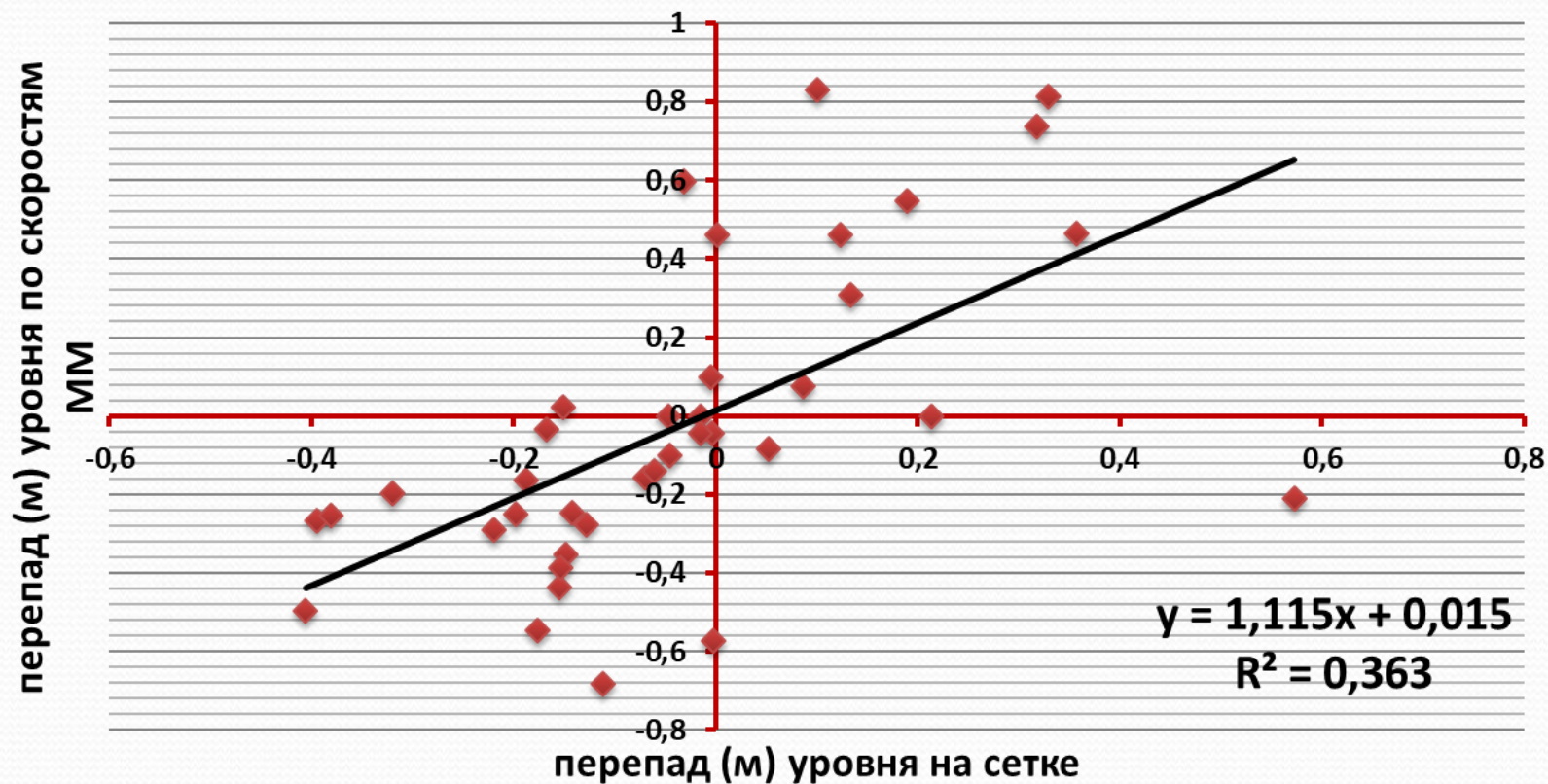
по скоростям

0,313

1.161

Видно, что при хорошем соответствии перепадов на треке, наблюдается заметное рассогласование между треком в узлах сетки. Причем значение перепада по скоростям лучше соответствует физической природе синоптического вихря Курошио, где перепад около 1 м.

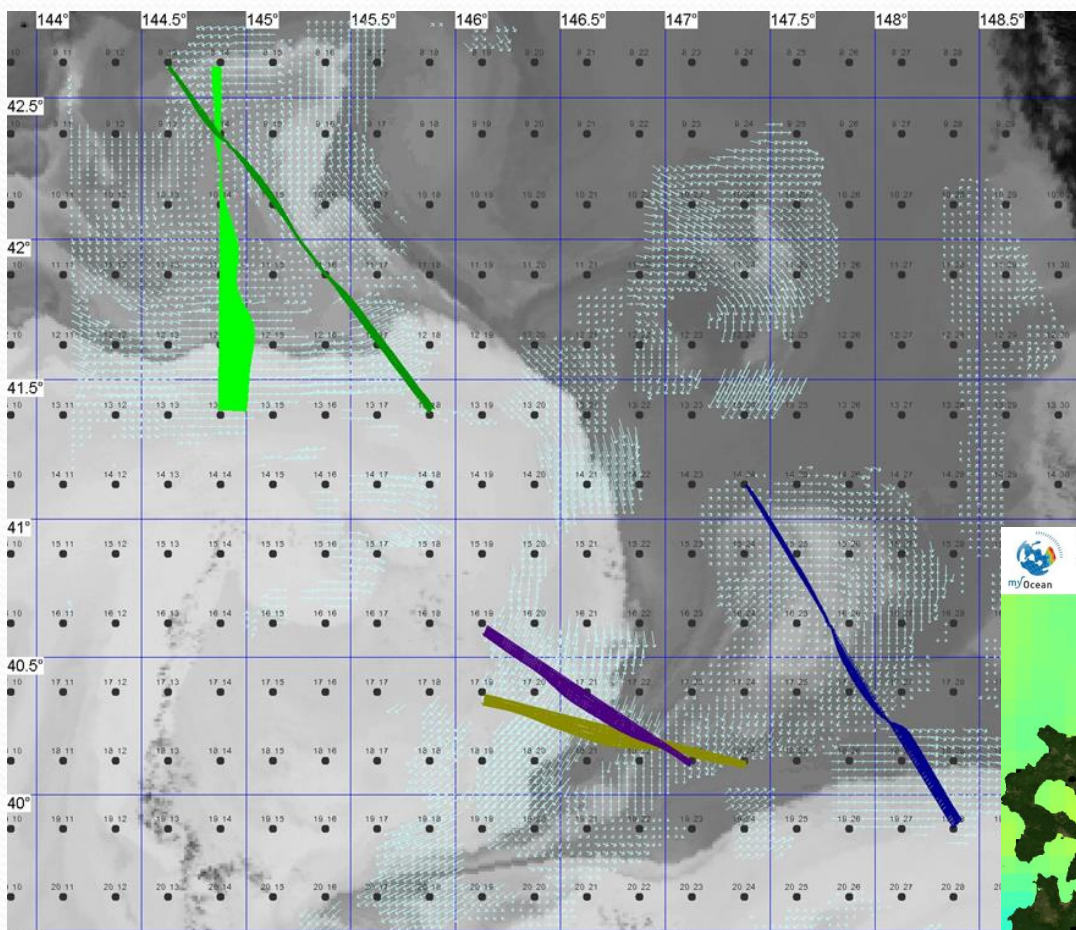
Сравнение перепадов динамических высот, рассчитанных по скоростям перемещений морских маркеров, с измерениями в узлах регулярной сетки по данным за 2019-2020 годы.








В узлах регулярной сетки
наблюдается наклон **1.115**
со стандартным отклонением **0.313**

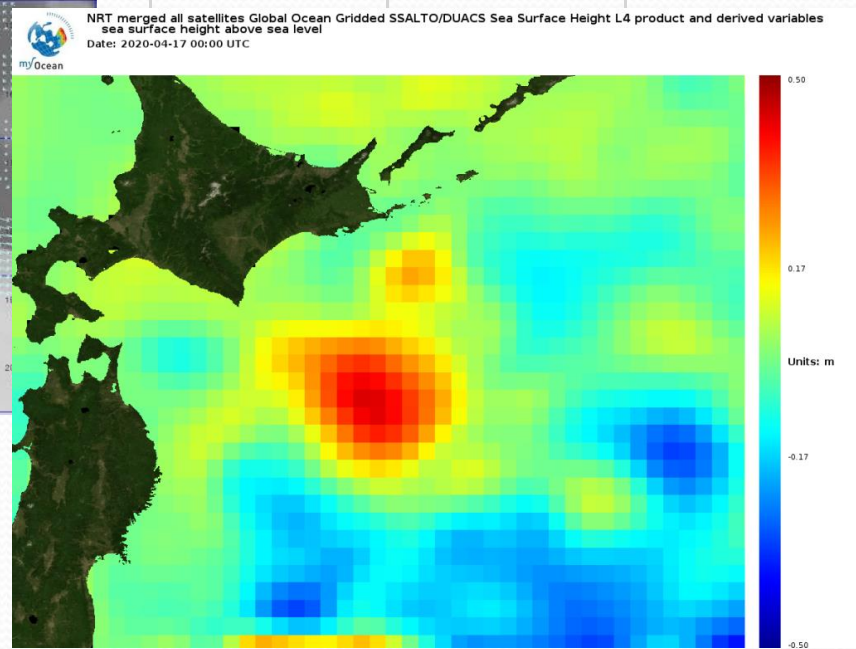
Value	Error
0,015	0,052
1,115	0,246

Сравнение перепадов динамических высот, рассчитанных по скоростям перемещений морских маркеров, с измерениями в узлах регулярной сетки по данным за 2020 – 04 - 17



ДТ на сетке \ ДТ по Vмм \ Разрез

-0,22	-0,29	
-0,19	-0,17	
0,32	0,74	
-0,07	-0,16	
0,33	0,81	



Видно, что перепад уровня по скоростям выше, чем перепад по узлам сетки. Значение перепада по скоростям больше соответствует физической природе ринга Куроисио, т.е. перепаду уровня около 1 м.

Заключение

1. Проведено **количественное сравнение** перепадов уровня моря, рассчитанных по альтиметрии и скоростям перемещений морских маркеров (ММ).
2. **Перепад уровня моря, рассчитанный по скоростям ММ несколько выше**, чем перепад, рассчитанный на регулярной сетке альтиметрических измерений. Это может быть объяснено недостатками схемы интерполяции альтиметрических данных в межтрековом пространстве.
3. **Стандартное отклонение перепадов**, рассчитанных двумя способами, **велико (около 30см)**. Это может быть объяснено пространственно-временной нерегулярностью альтиметрических измерений (расстояние между треками 1.25 градуса, а повторяемость треков около 10 дней) .
4. Данные альтиметров могут быть дополнены скоростями морских маркеров, рассчитываемыми по ИК – изображениям. Это повысит точность оценки поверхностных течений и обеспечит согласованность различных способов наблюдения за мезомасштабной циркуляцией на поверхности моря.