

ДВУХКАНАЛЬНЫЙ МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ LANDSAT-8

Алескерова А.А., Кубряков А.А., Станичный С.В.

Морской гидрофизический институт

г. Севастополь

2015

Уже более 30 лет доступны измерения ТПО с различных спутников в микроволновом и инфракрасном диапазоне. Наиболее высокое доступное пространственное разрешение данных о ТПО до последнего времени составляло ~ 1 км и было получено по измерениям приборов MODIS и AVHRR в инфракрасном (ИК) диапазоне.

В 2013 году был запущен орбитальный спутник Landsat 8. На нем установлен прибор Thermal InfraRed Sensor (TIRS)

Он имеет пространственное разрешение 100 м для дальнего ИК и производит измерения яркостной температуры в двух каналах:

канал 10 ($\lambda=10.30 - 11.30$ мкм)

канал 11 ($\lambda=11.50 - 12.50$ мкм)

Интервал повторения съемки над широтами Черного моря ($40-45^\circ\text{N}$) составляет 16 дней.

В данной работе использовались данные сенсоров спутника Landsat 8 за период с 2013 по 2014 года.

Для определения радиационной температуры T10 и T11 по измерениям спектральной яркости излучения спутника Landsat была использована

формула, где:

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)}$$

T - радиационная температура,
k1 и k2 - известные константы,
 L_λ - яркость восходящего излучения

Суть метода

Сигнал, принимаемый спутником является суммой сигнала от океана (собственно температура) и от атмосферы (связанный с пропусканием атмосферы).

Излучательные характеристики атмосферы в двух каналах различны, а характеристики излучения поверхности одинаковы.

Тогда температуру поверхности можно определить как:

$$T = T_{10} + a * (T_{10} - T_{11}) + b$$

где T_{10} и T_{11} – температура, полученная с каналов 10 и 11 соответственно

Для определения коэффициентов a и b в качестве температуры T используются калиброванные данные о температуре, полученные по измерениям прибора MODIS.

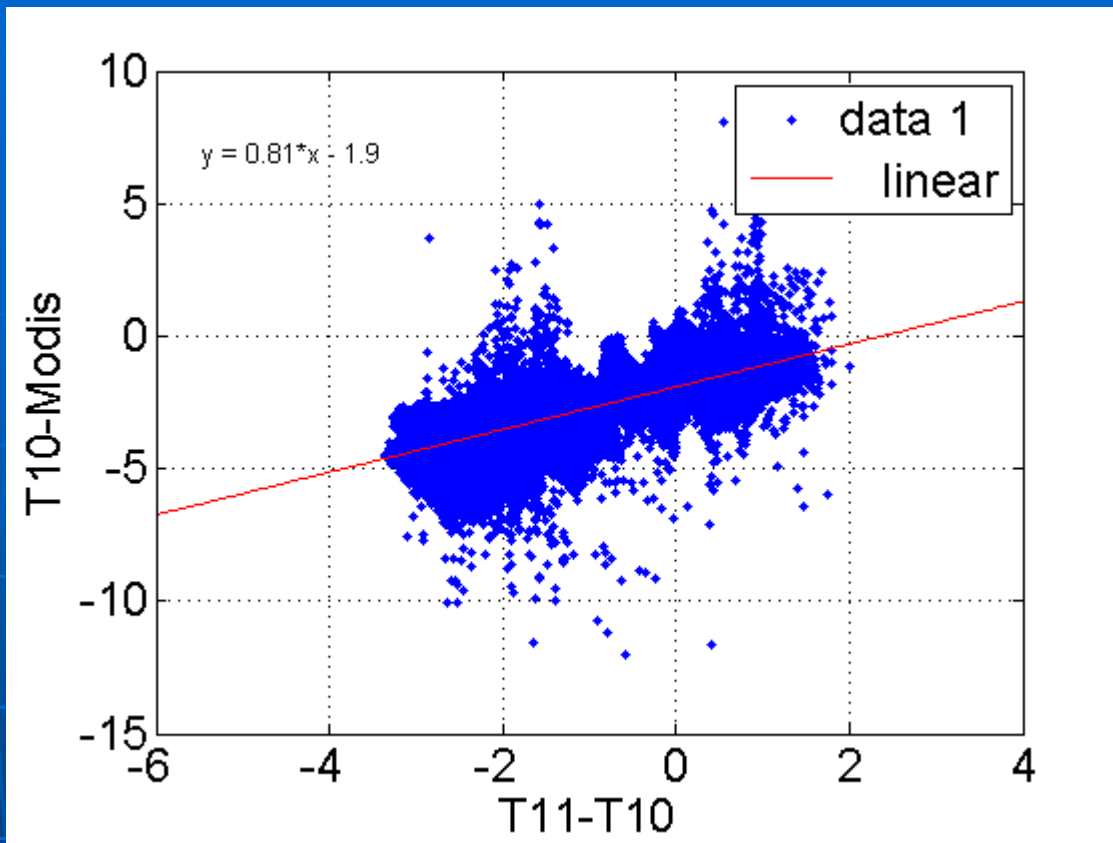
Данные о яркостной температуре Landsat осреднялись в ячейках 11×11 для сопоставления с данными Modis.

Всего на диаграмме рассеяния представлено более 300000 измерений.

После этого рассчитывались коэффициенты регрессии между $(T_{10}-T)$ и $(T_{11}-T_{10})$

Снимки спутника LandSat подбирались по двум критериям:

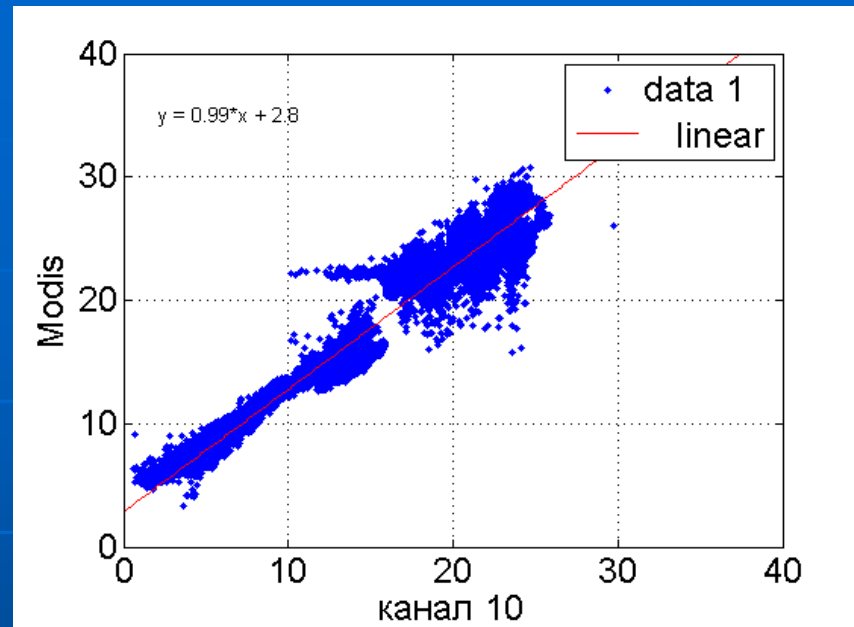
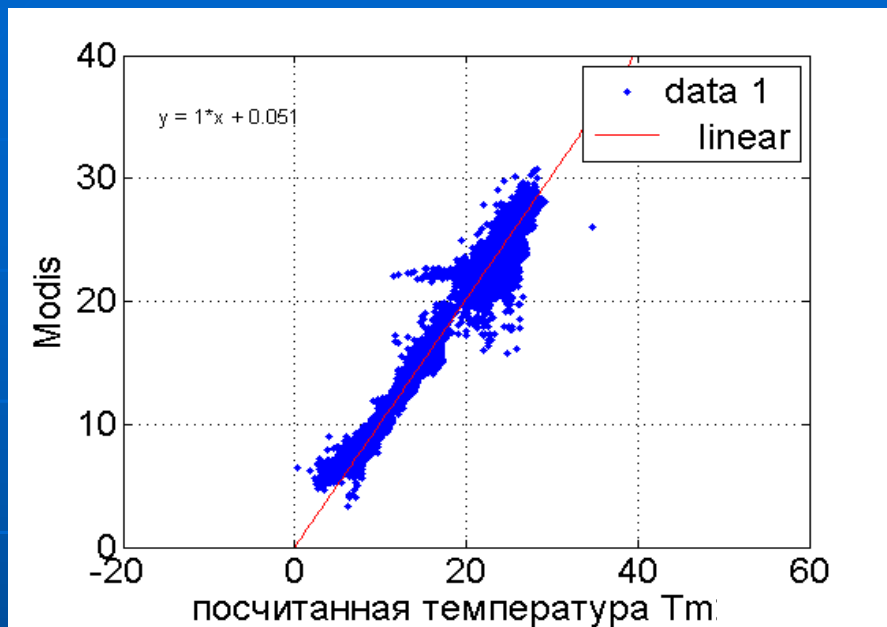
- отсутствие облачности
- присутствие больших перепадов значений яркостной температуры на снимке



Диаграммы рассеяния между (T10-T) и (T11-T10)

В результате получили формулу для расчета температуры по данным Landsat:

$$T_m = 1.99 * T_{10} - 0.891 * T_{11} - 1.21$$



Диаграммы рассеяния между Т (Modis) и Т_m (Landsat) (слева);
Т и Т₁₀ (справа)

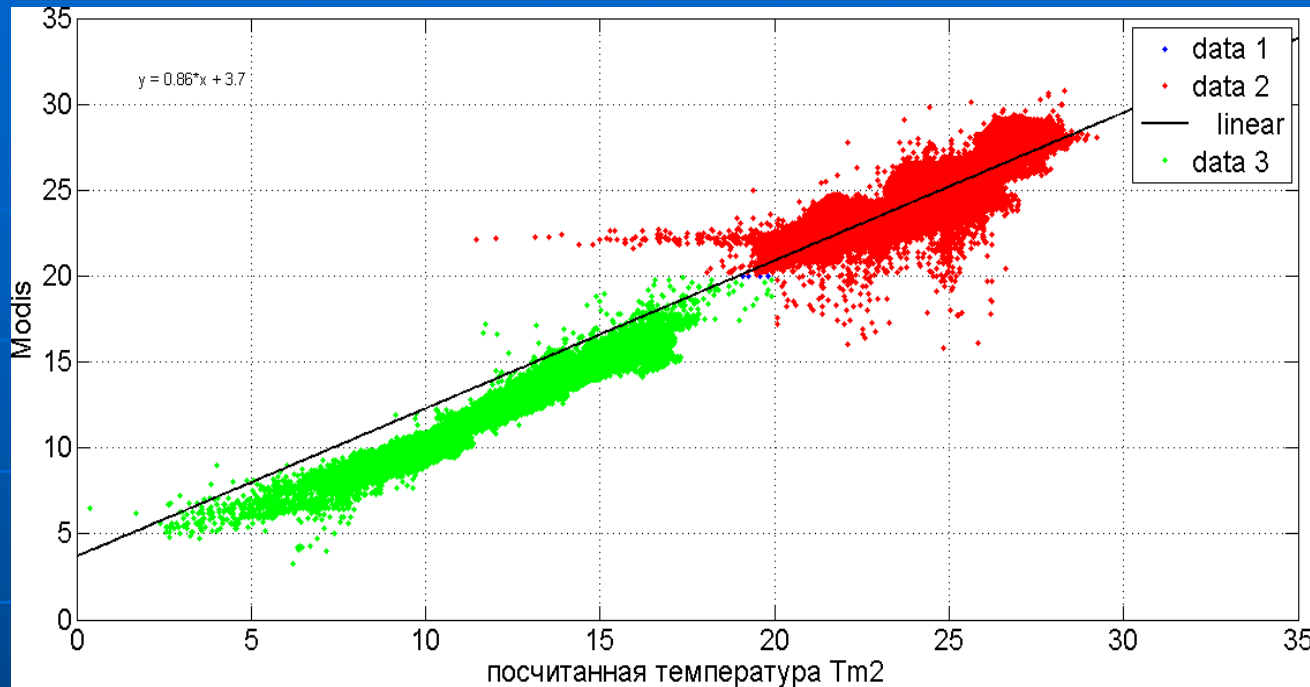
Несмотря на то, что коэффициент регрессии для диаграммы
рассеяния между Т и Т₁₀ близок к 1,

стандартное отклонение $\text{std}(T - T_{10}) = 1.1^{\circ}\text{C}$.

коэффициент корреляции для $(T - T_m)$ 0.99

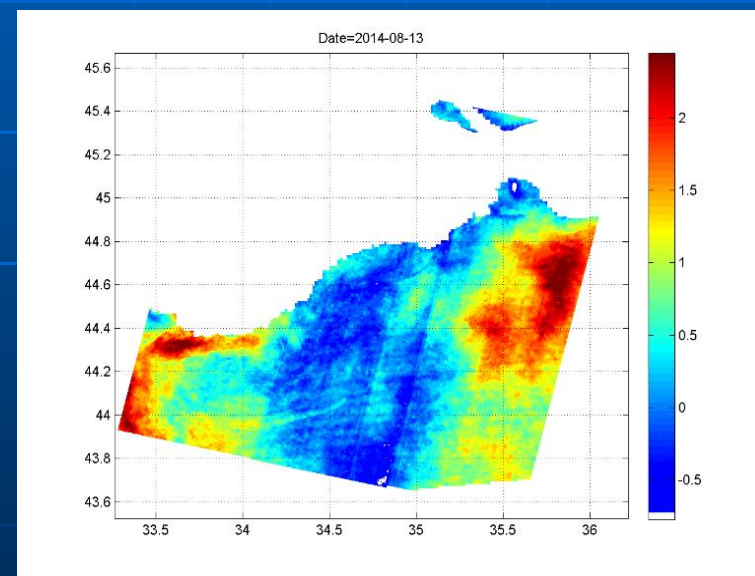
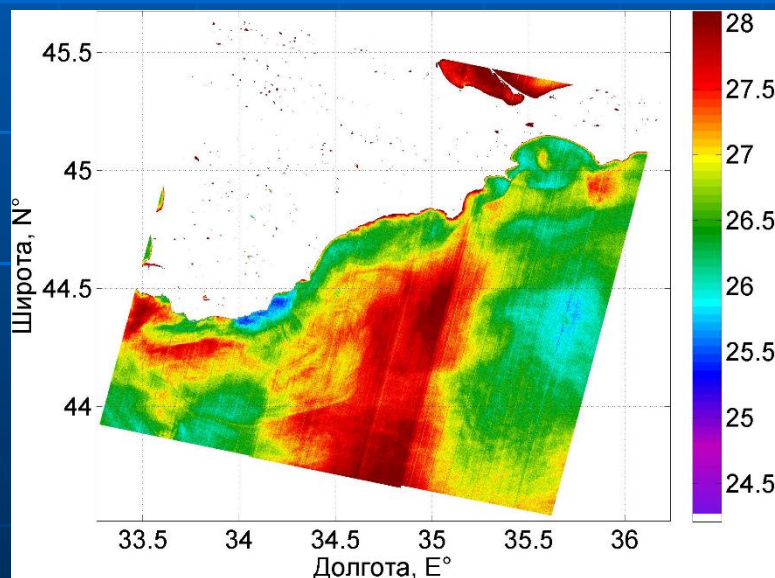
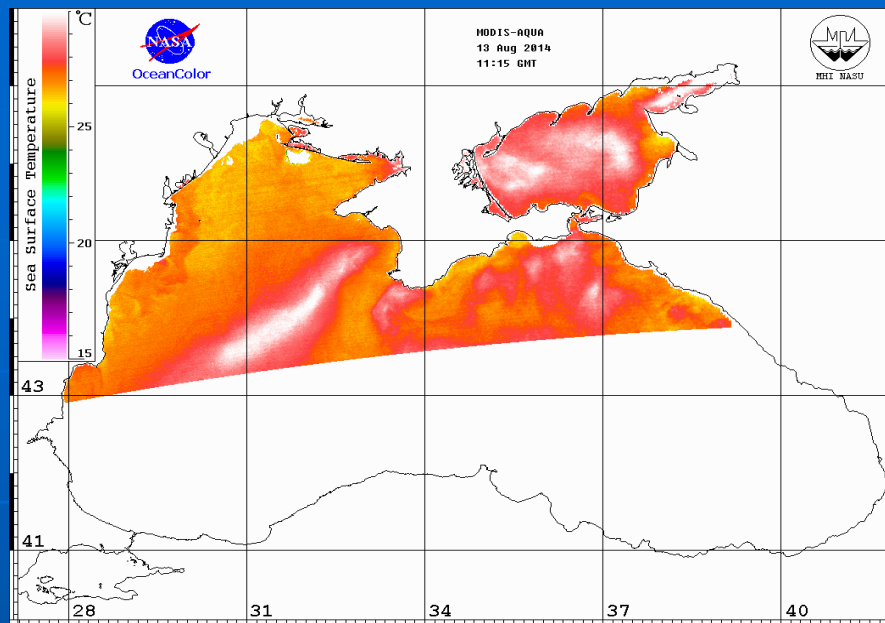
стандартное отклонение $\text{std}(T - T_m) = 0.58^{\circ}\text{C}$

Источники несоответствия между температурой MODIS и температурой, восстановленной по LandSat



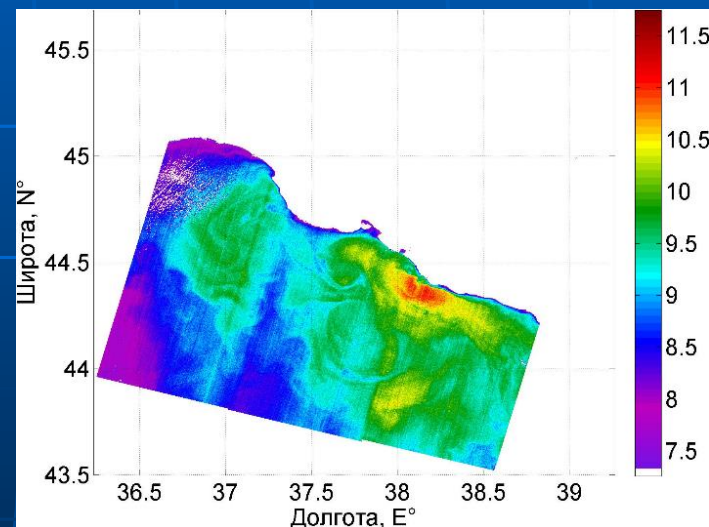
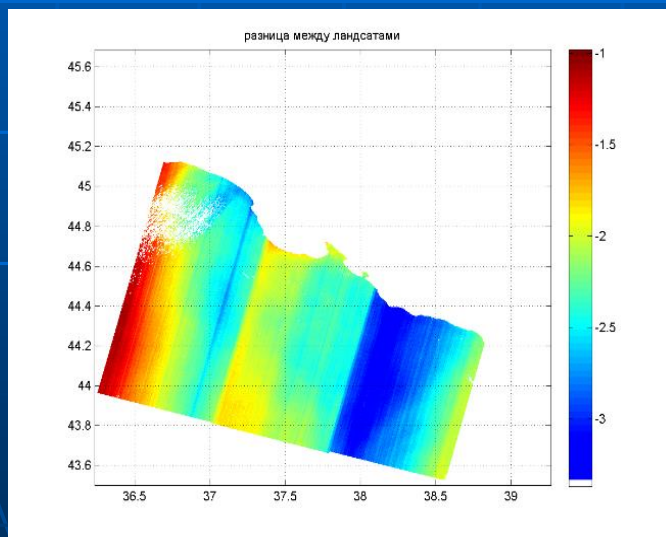
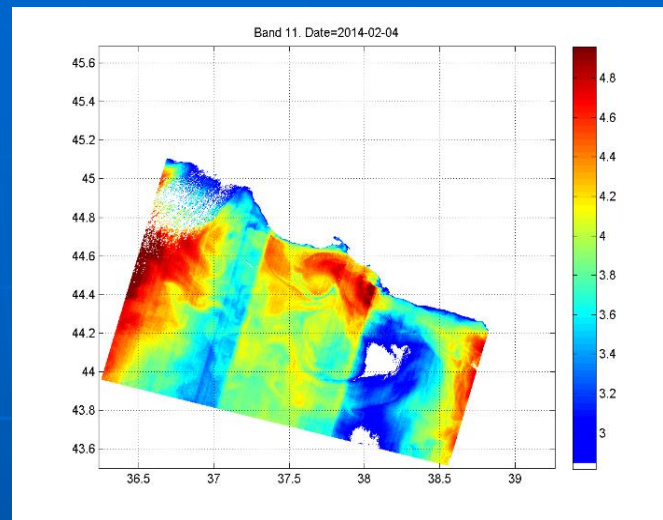
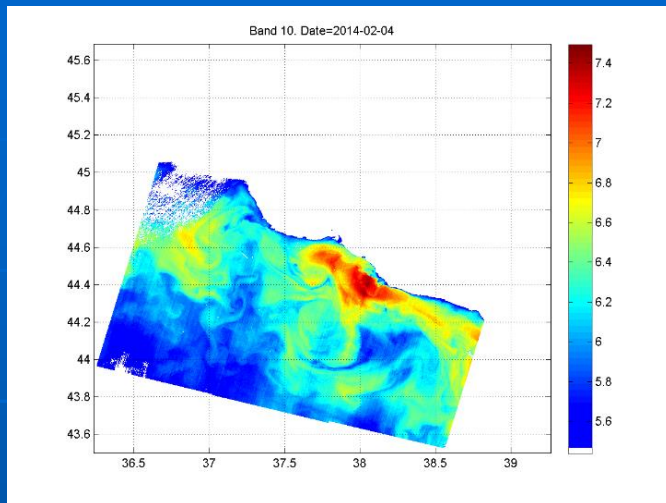
Диаграммы рассеяния между T и T_m для теплого периода (красные точки), холодного периода (зеленые точки). Черной линией отложена регрессионная кривая для теплого периода

Для **холодного периода** стандартное отклонение равно 0.48°C , коэффициент корреляции 0.99;
для **теплого** характеристики хуже - стандартное отклонение в два раза выше и равно 0.81°C , коэффициент корреляции 0.90

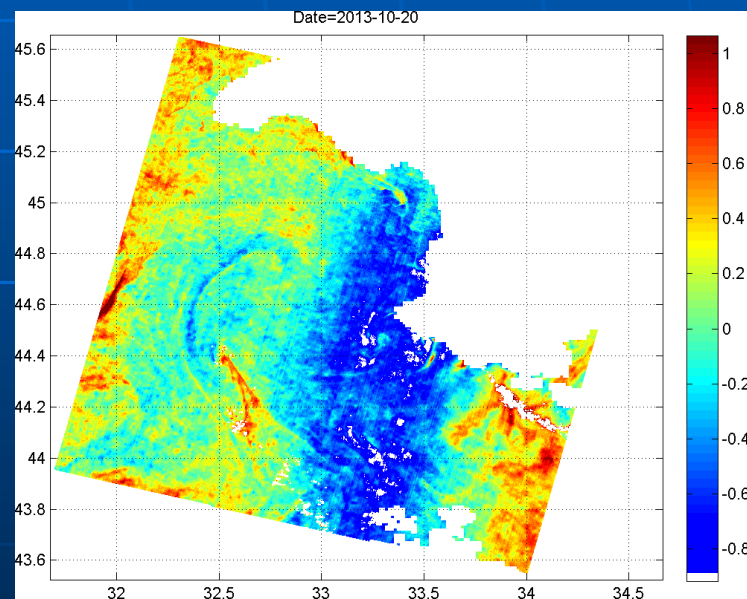
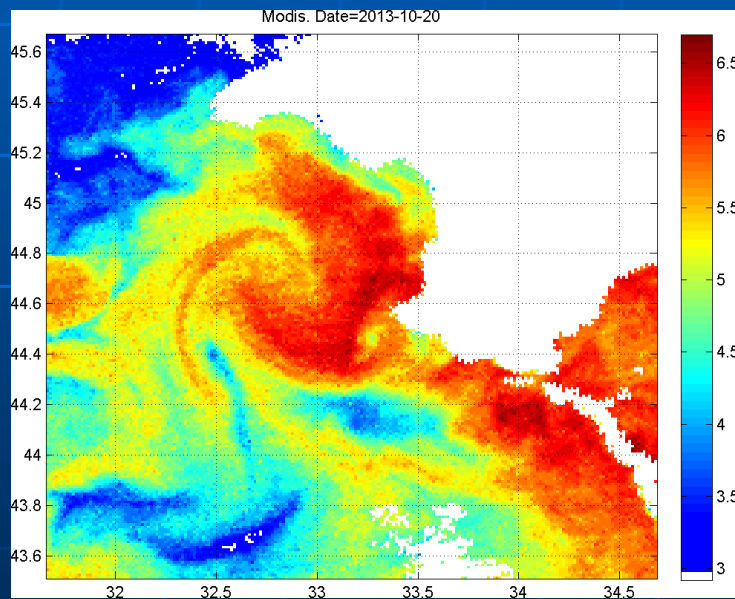
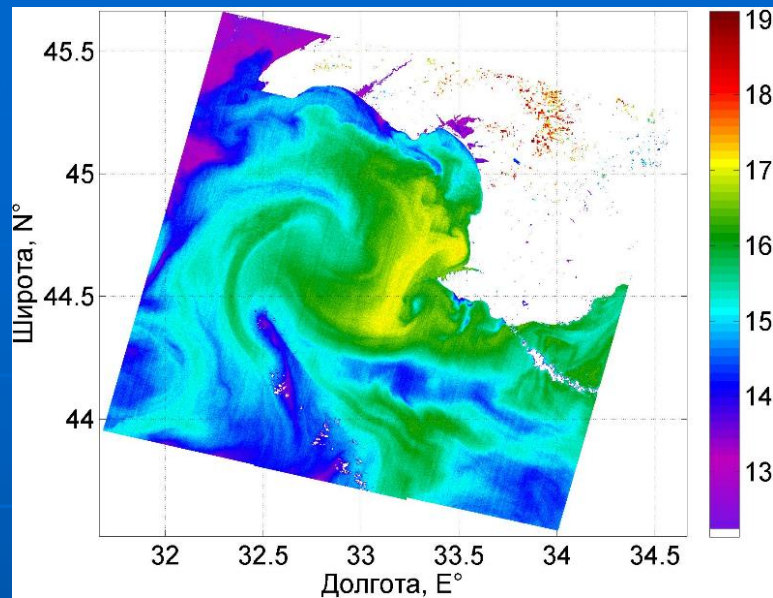


ТПО за 13 августа 2014 года: по данным MODIS (11:00 UTC сверху); по данным LandSat (8:00 UTC снизу слева); и их разница (снизу справа)

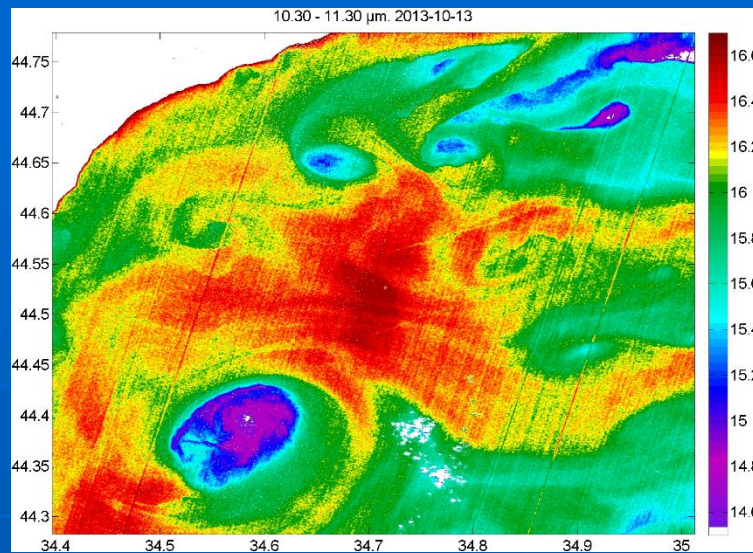
Специфические полосы в данных LandSat



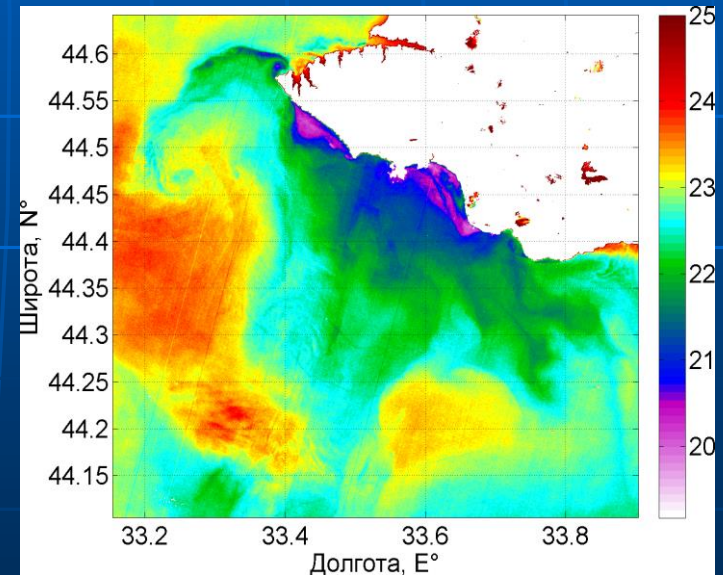
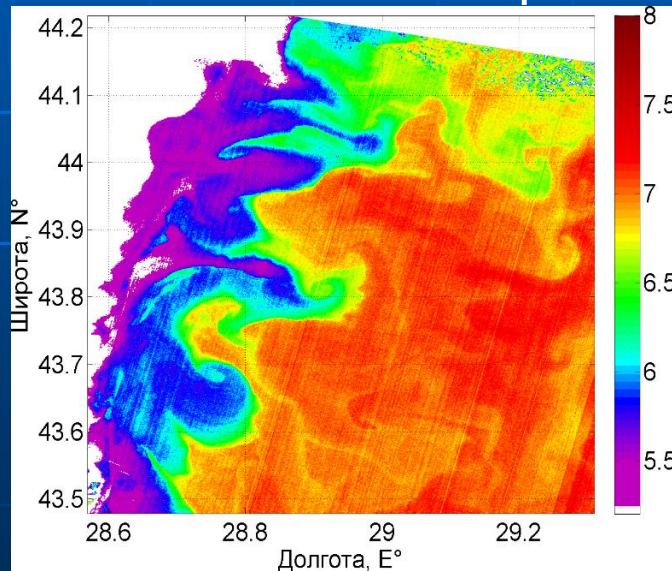
Сверху - Яркостная температура за 4 февраля 2014 года по каналу 10(слева) и каналу 11 (справа); Снизу - разница яркостных температур в канале 11 и канале 10 (слева) и восстановленная температура T_m (справа)



Сверху - температура Tm2 по данным Landsat; Снизу - температура T по данным MODIS (слева), разница между температурами (T-Tm2) за 10 октября 2013 года



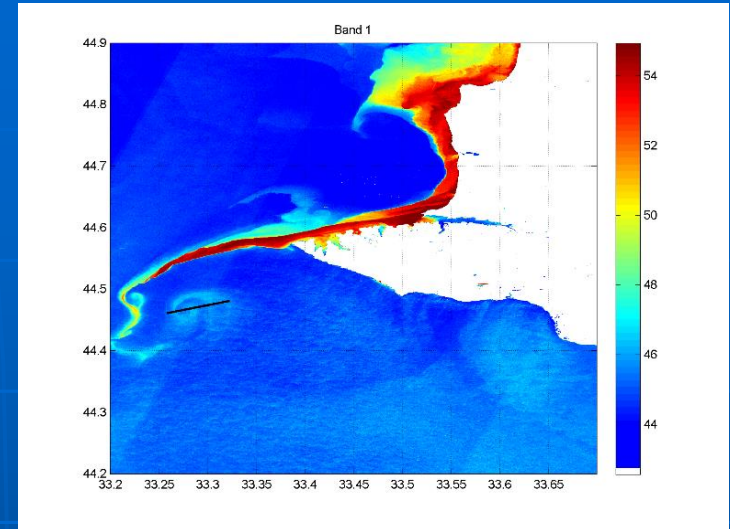
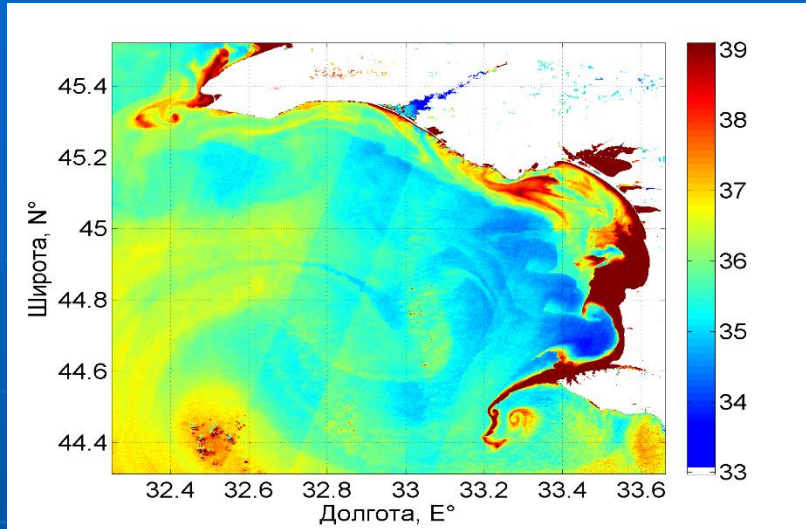
Пример системы вихрей в поле яркостной температуры по измерениям Landsat-8 в канале 10



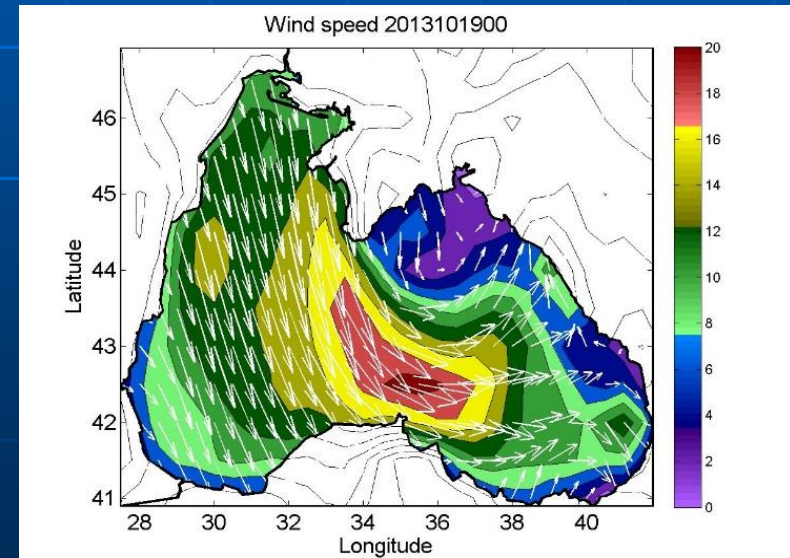
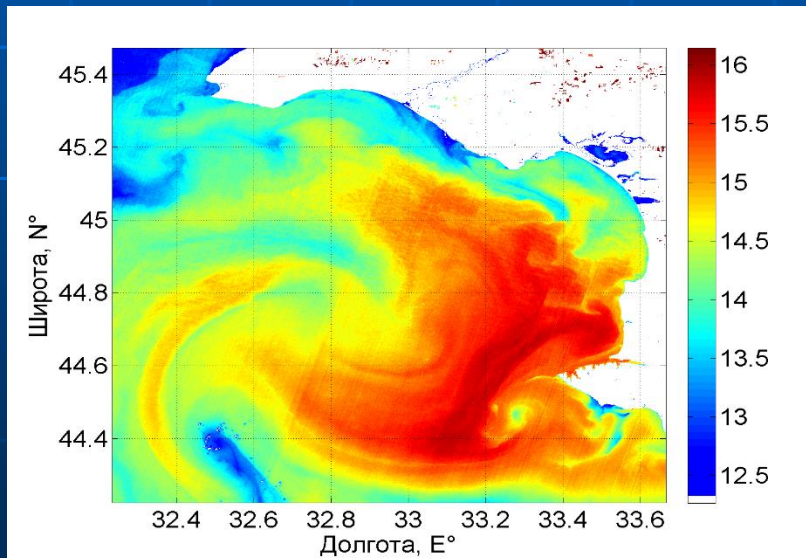
Пример выноса холодных вод с берега (слева) 21 декабря 2013 года и пример летнего апвеллинга 1 августа 2013 года в полях яркостной температуры по измерениям Landsat-8 в канале 10

Северный шторм

20 октября 2013 года Landsat 8



Канал 1 — (Coastal / Aerosol, New Deep Blue), $\lambda=0.433 - 0.453$ мкм, разрешение 30 м



Карта радиационной температуры (канал 10 - Long Wavelength Infrared, TIR1), $\lambda=10.30 - 11.30$ мкм, разрешение 100 м

Данные из программы "KUST"

Заключение

- Разработан двухканальный алгоритм восстановления температуры по измерениям спутника Landsat-8
- он позволяет восстанавливать температуру поверхности с разрешением 100 метров, что дает возможность анализировать пространственную структуру различных явлений на поверхности океана на мелких масштабах (апвеллингов, субмезомасштабных вихрей и др.)
- стандартное отклонение $\text{std}(T-T_m) = 0.58^\circ\text{C}$ для теплого периода и 0.48°C – для холодного
- дальнейшую отладку алгоритма планируется провести на основе сопоставления с натурными измерениями температуры по измерениям на подспутниковом полигоне



Благодарю за внимание!!!