



Двадцать вторая международная конференция  
"СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА"  
11 - 15 ноября 2024 г. Москва, ИКИ РАН

Методы и алгоритмы обработки спутниковых данных

# Построение композиционных карт температуры поверхности океана (ТПО) по спутниковым данным открытых международных архивов

*Дьяков С.Е.<sup>1</sup>, Алексанина М.Г.<sup>1,2</sup>*

*[sergdkv@gmail.com](mailto:sergdkv@gmail.com)*

*<sup>1</sup>Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН,*

*<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет*

*Владивосток, Россия*

# Проблема построения высокоточных композиционных карт ТПО по спутниковым данным

## - размытие фронтов ТПО

1) Построение композиционных карт ТПО по стандартным алгоритмам NASA **размывает фронты** **из-за облачности**, которую не удалось отфильтровать

2) **Перемещение вихрей, струй, появление апвеллингов** «размывает» линии термических фронтов на композиционных картах ТПО

3) В безветренных условиях солнечный прогрев верхнего слоя океана может достигать  $3^{\circ}$ - $4^{\circ}$ , а в некоторых случаях и  $10^{\circ}$ , что не соответствует температуре на глубине в 1 метр и должно быть отфильтровано

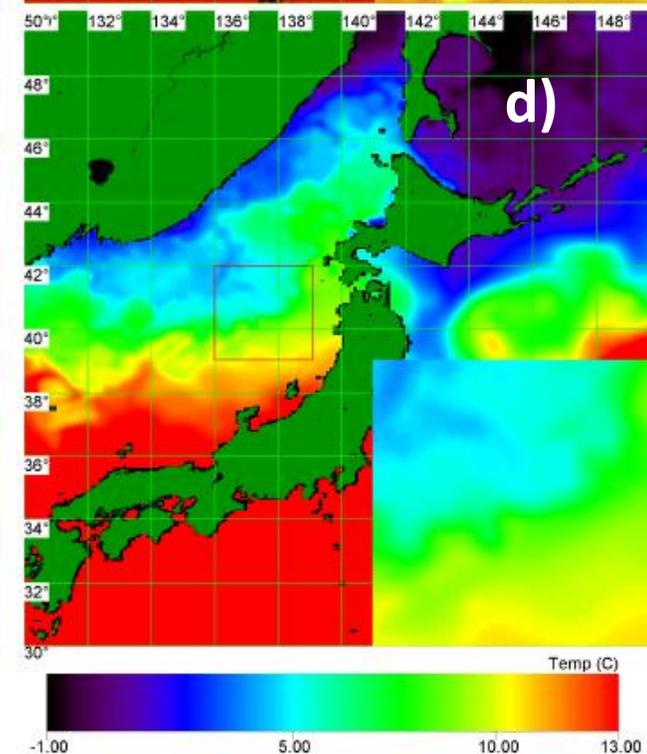
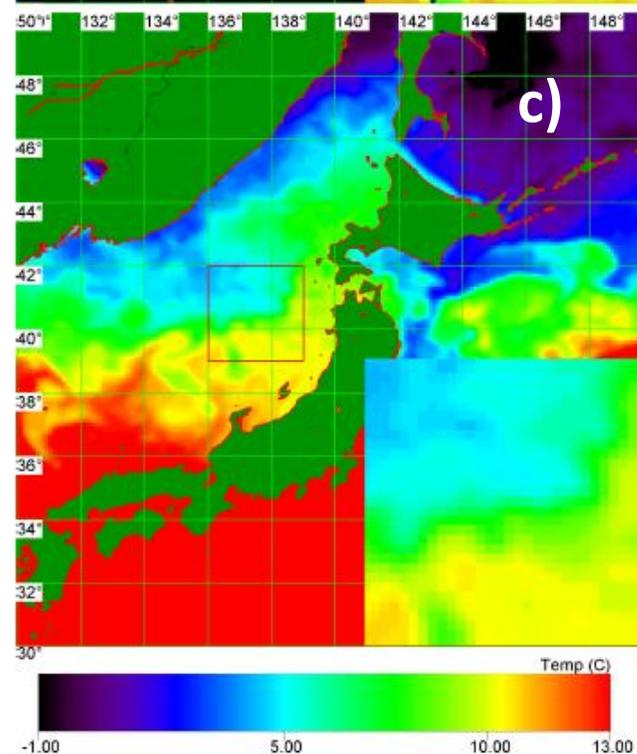
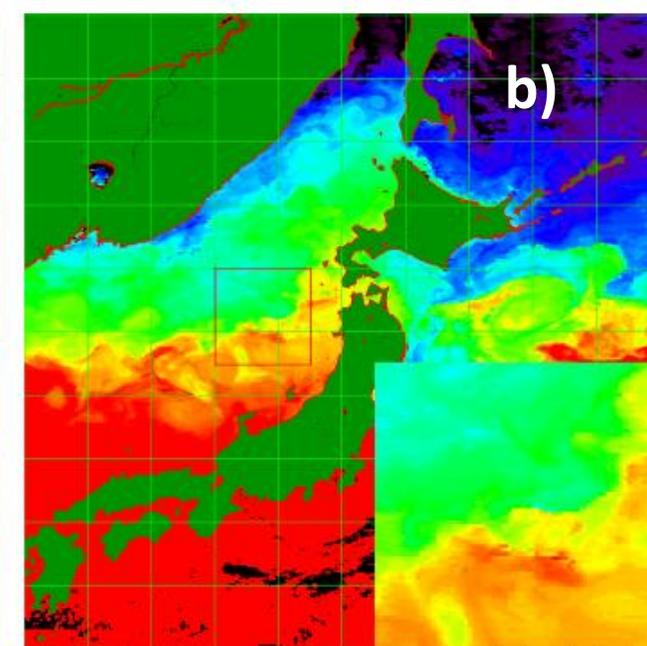
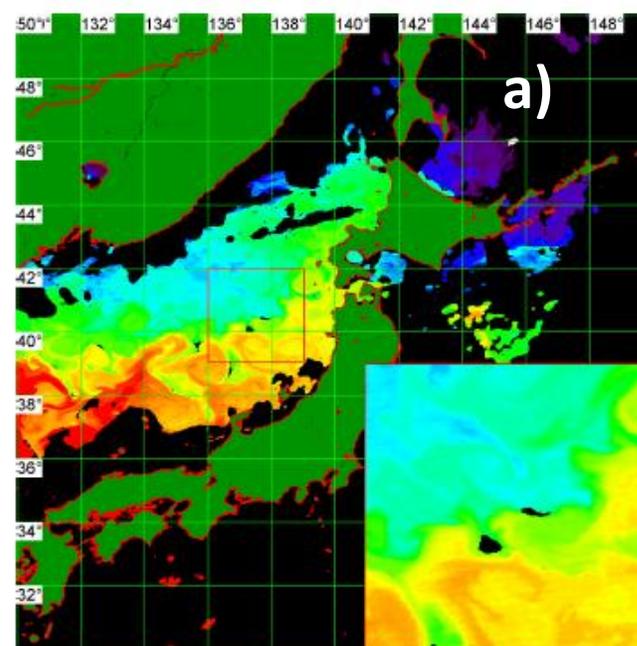
# Сравнение построения композиционных карт температуры поверхности океана (ТПО) разными алгоритмами

a) Композиционная карта ТПО за 2022-04-13 --- 2022-04-18  
(Спутниковый центр Дальневосточного отделения Российской академии наук )

b) Карта SST (ТПО) за 2022-04-15 – 2022-04-22  
(NASA OBPG/OB.DAAC по данным MODIS/AQUA )

c) Карта SST (ТПО) GHRSSST 20220416000000-NAVO-L4\_GHRSSST-SST1m-K10\_SST-GLOB-v02.0-fv01.0  
(NAVOCEANO -Министерство обороны США)

d) Карта GHRSSST 20220418000000-DMI-L4\_GHRSSST-SSTfnd-DMI\_OI-GLOB-v02.0-fv01.0.  
(Карта подготовлена NASA PO.DAAC.)



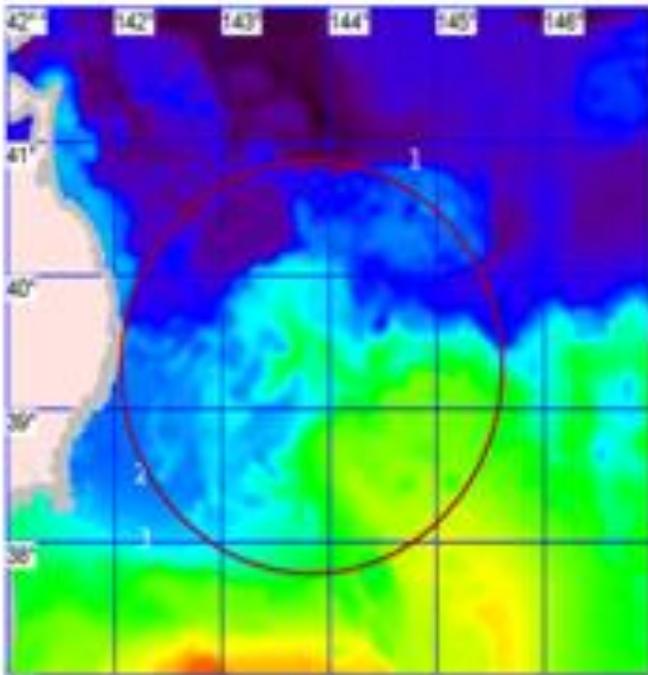
# Новый принцип алгоритма построения композиционных карт ТПО для получения достоверных оценок

**Оценка** в каждой точке океана  
**не среднего**  
значения температуры за интервал времени,  
**а наиболее вероятного**

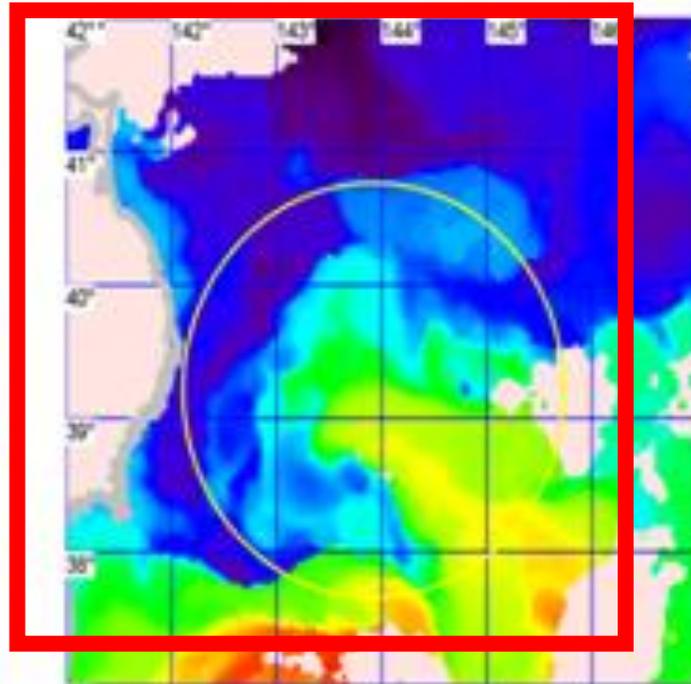
Достигаемое преимущество :  
**стабильность** = в меньшей степени  
подверженность случайным  
колебаниям, вызванными влиянием  
атмосферы и недостаточно  
отфильтрованной облачностью

Результат нового подхода,  
когда ищется оценка не среднего за интервал времени значения ТПО, а наиболее вероятного,  
**= сохранение пространственной структуры ТПО**

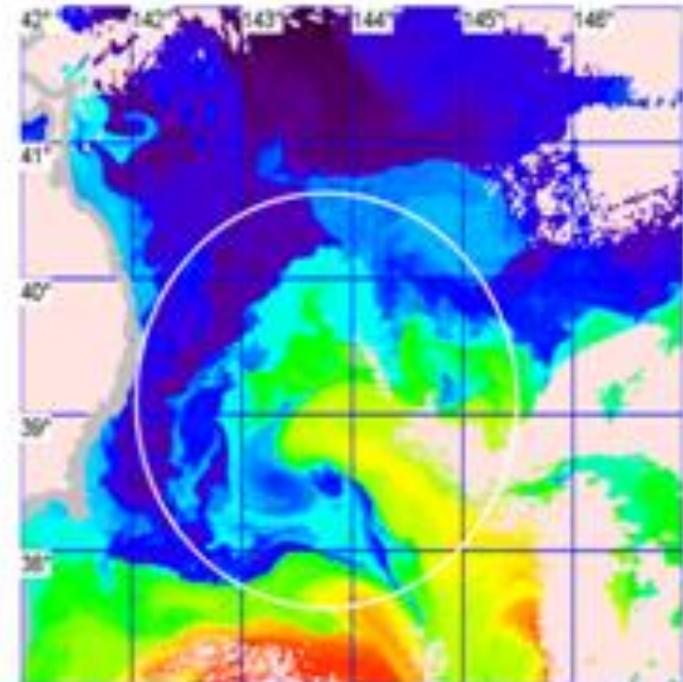
$$T_{MTSAT-1R\ SST}^j < med\{T_{MTSAT-1R\ SST}^j : i \in 1 \dots N, h_{sun}^i \in [0^\circ, 29^\circ]\} + 2^\circ\text{C},$$
$$\|T_{SST}^{xy} - T_{\text{эталон}}^{xy}\| > \Delta\tilde{T},$$
$$|T_{SST}^{xy} - T_{\text{эталон}}^{xy}| > \alpha\tilde{T}_{\text{простр}}^{xy} + \beta\tilde{T}_{\text{врем}}^{xy} + \chi,$$



ТПО NASA 2013/03/15

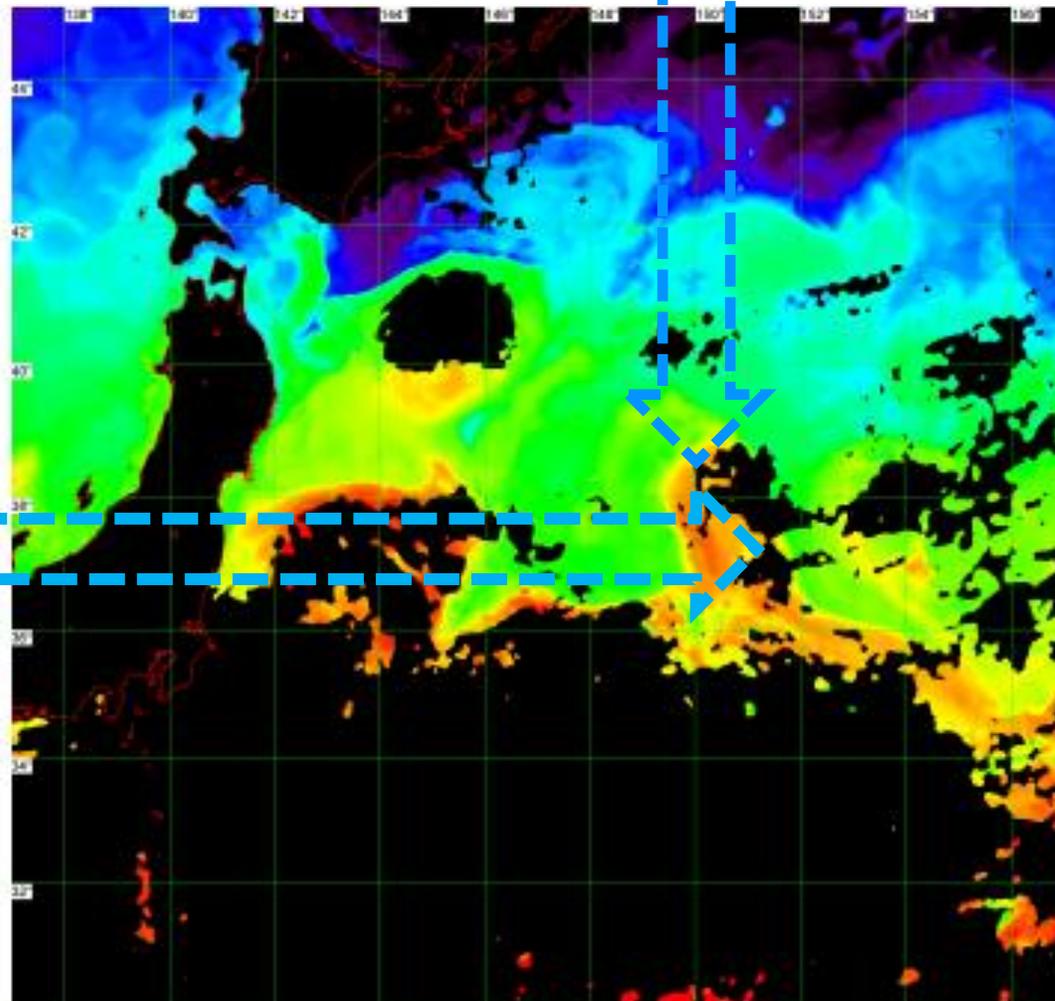
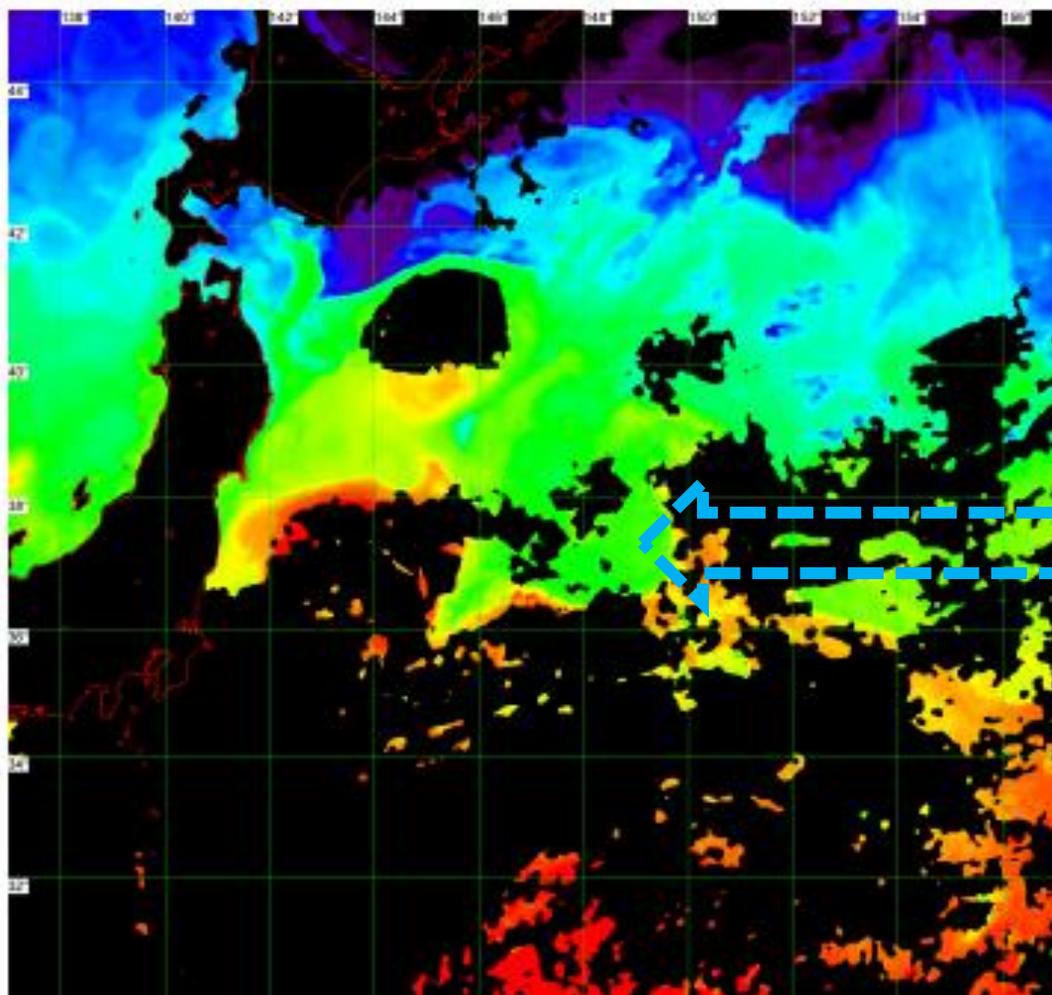


Композиционное ТПО  
Спутникового центра ДВО РАН



Одиночное спутниковое  
изображение ТПО

# Результат использования дополнительных облачных фильтров для построения композиционных карт ТПО (2024-05-18, остров Хоккайдо в Японском море )



# Методика Спутникового центра ДВО РАН построения композиционных карт ТПО по данным метеорологических спутников Земли

## Выбор данных по дате:

по заданному диапазону дат берутся карты ТПО [https://oceancolor.gsfc.nasa.gov], построенные по одиночным мультисканальным изображениям радиометров MODIS и VIIRS спутников EOS Aqua, EOS Terra, Suomi NPP, NOAA 18-20

## Приведение к единому виду:

карты ТПО преобразуются к единому виду, в соответствии с указанными пользователем параметрами. При построении карт используется стандартная фильтрация облачности

## Построение эталонных карт и карт изменчивости:

строятся композиционные изображения (карты-эталон) за значительный (10 суток) период времени, и, одновременно с этим, создаются отдельно карты временной и пространственной изменчивости

## Обнаружение экстремальных значений:

для обнаружения случаев экстремального поверхностного прогрева создаются утренние и вечерние карты-эталон.

## Фильтрация:

одиночные карты ТПО проходят дополнительную фильтрацию по картам-эталонам с использованием карт временной и пространственной изменчивости.

## Выходной результат:

по полученным картам отфильтрованных значений ТПО создаются утренние, вечерние, дневные, ночные и общие композиции. Если исходные спутниковые данные имеют шумы случайного характера, то выбирается медианное значение ТПО по пикселям, расположенным внутри бегущего окна размером до 5X5 пикселей.

# Разрабатываемый сервис Спутникового центра ДВО РАН построения композиционных карт ТПО по данным метеорологических спутников Земли

**RK composition prototype (JUPITER)**

Start Date:

End Date:

Name:

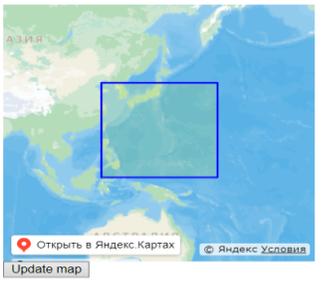
north

west  east

south

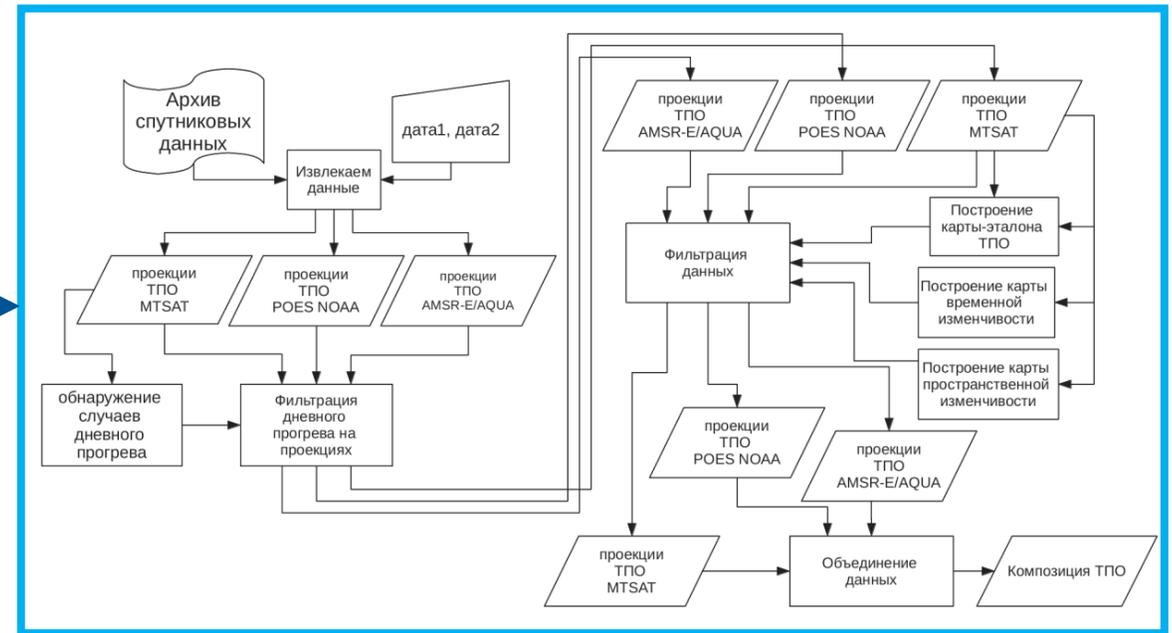
projection type:

resolution (seconds):



Regions:

order_id	order params	order status/status
<input type="button" value="delete"/> <input type="button" value="restart"/>	jtask00155 dates: 2023-12-09 2023-12-10 Region name: TEST_SST Region coords: 2 40 162 120 res=45 type=1(merk)	STARTED 2024-05-01_13_10_02
<input type="button" value="delete"/> <input type="button" value="restart"/>	jtask00154 dates: 2023-12-09 2023-12-10 Region name: TEST_SST Region coords: 2 40 162 120 res=45 type=1(merk)	STARTED 2024-04-27_15_10_02 COMPLETE 2024-04-27_15_24_44 <a href="#">results_dir</a>
<input type="button" value="delete"/>	jtask00153 dates: 2023-04-24 2023-04-28 Region name: NORD10	STARTED 2024-04-15_12_00_02 COMPLETE 2024-04-15_12_28_40



**Пользовательский интерфейс**

**Схема функционирования**

На выходе 4 продукта :

композиция ТПО, эталон ТПО , дневная ТПО, ночная ТПО

Созданная технология интегрируется виде сервиса

в Государственную информационную систему оперативной поставки данных дистанционного зондирования Земли (ГИС ОПД ДЗЗ) Роскосмоса.

Это требует быстрого и массового скачивания данных, что является проблемой

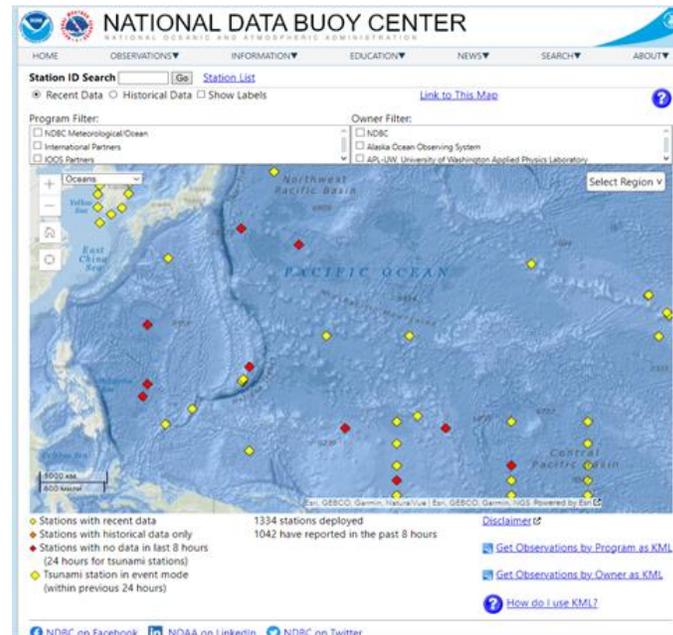
# Оценки точности нового подхода на основе сравнения композиционных карт ТПО, построенных по спутниковым данным, с данными непосредственного измерения ТПО

В качестве тестовой акватории была  
выбрана северо-западной область  
Тихого океана.

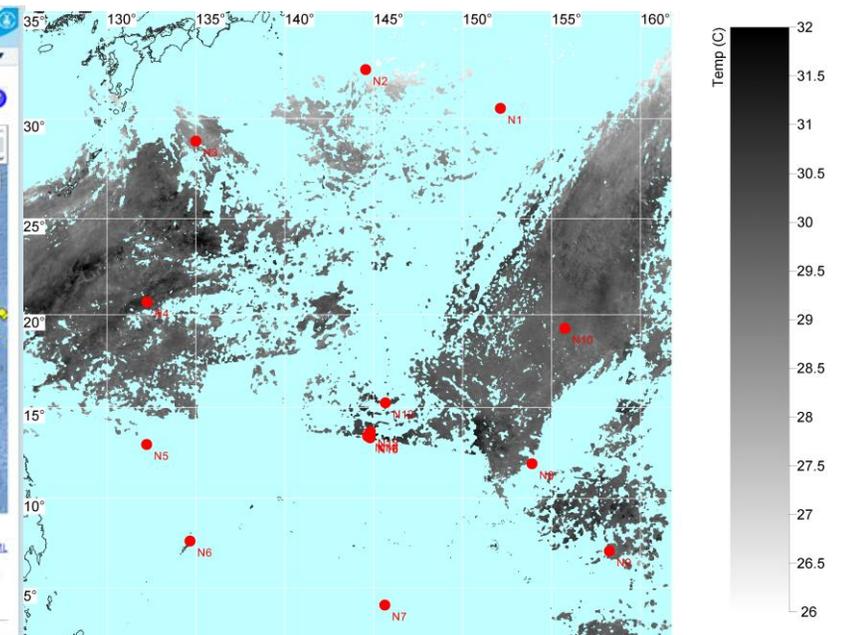
Данные in situ измерений брались из  
открытых зарубежных баз данных о  
температуре поверхности океана с  
буйков и судовых CTD-измерений.

Анализировалась невязка между ТПО по  
спутниковым и in situ данным.

Анализ проводился в зависимости времени  
года, географического положения,  
скорости ветра и других природных  
явлений, влияющих на ТПО океана.



<https://www.ndbc.noaa.gov>



Композиционная карта ТПО  
с нанесенными буйками

# Анализ сравнения невязок ТПОin situ – ТПОsat\_comp/etaln/day/night по месяцам - средняя невязка

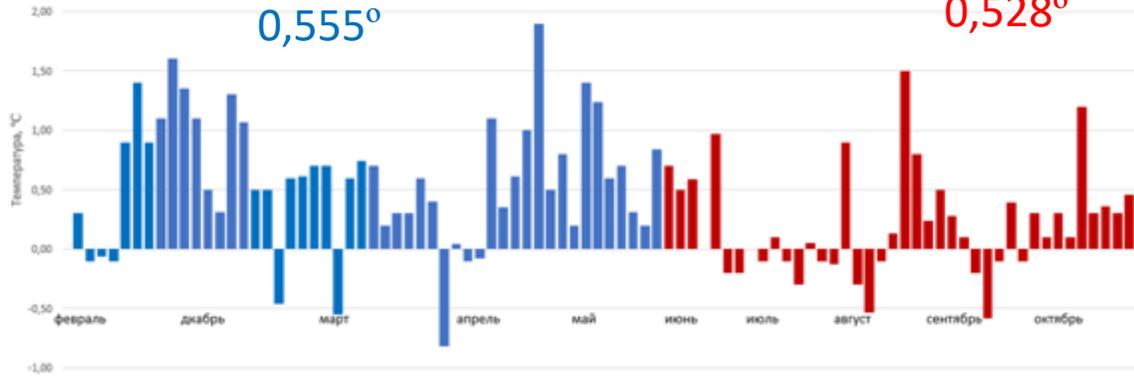
comp

0,58°

0,29°

0,555°

0,528°



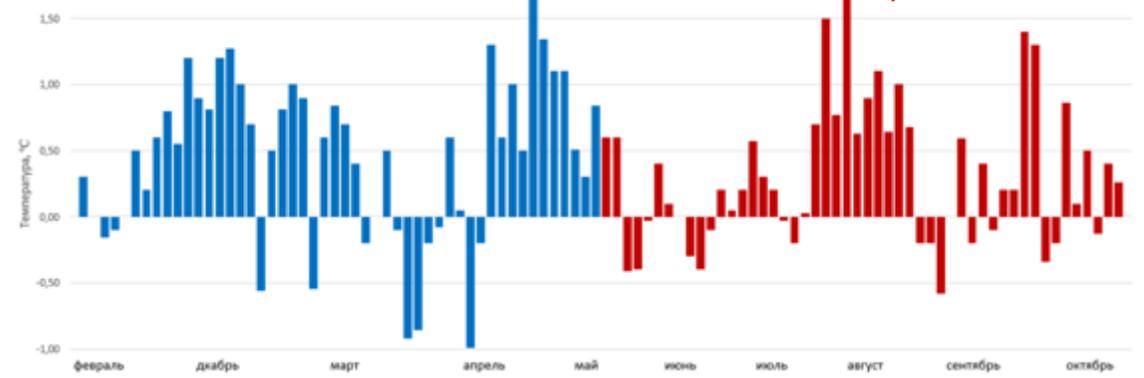
day

0,45°

0,31°

0,623°

0,540°



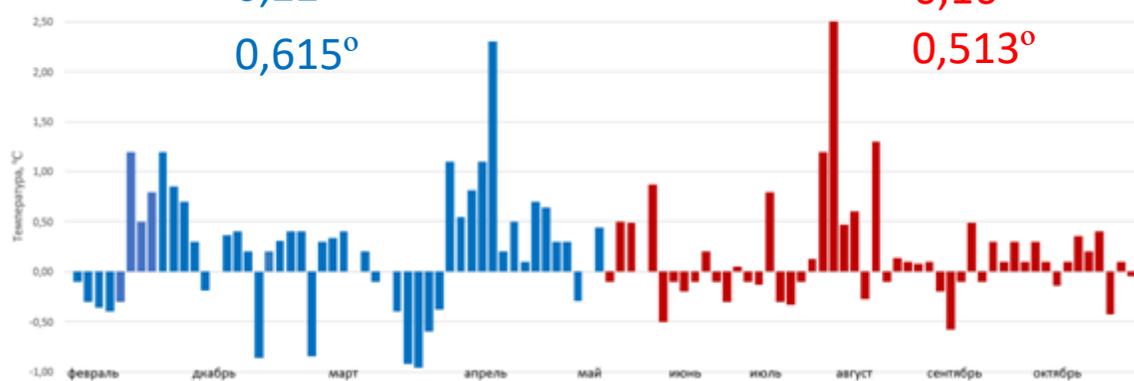
etalon

0,22°

0,16°

0,615°

0,513°



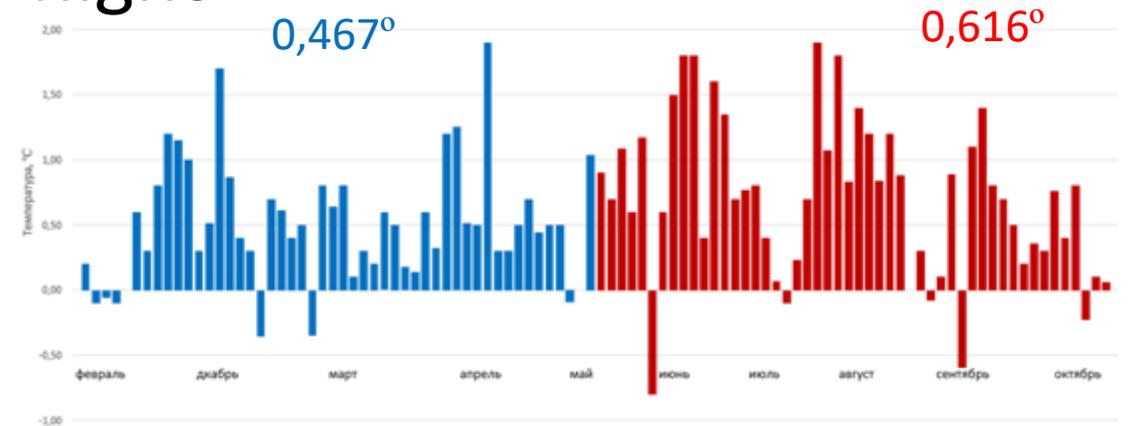
night

0,51°

0,71°

0,467°

0,616°



# Анализ средних невязок ТПОin situ-ТПОsat/comp/etaln/day/night

## Средняя невязка, все сезоны

comp	etalon	day	night
0,43°	0,19°	0,38°	0,61°

### Оценка точности среднего

0,056°	0,056°	0,058°	0,055°
--------	--------	--------	--------

## Средняя невязка, зима-весна

comp	etalon	day	night
0,58°	0,22°	0,45°	0,51°

### Оценка точности среднего

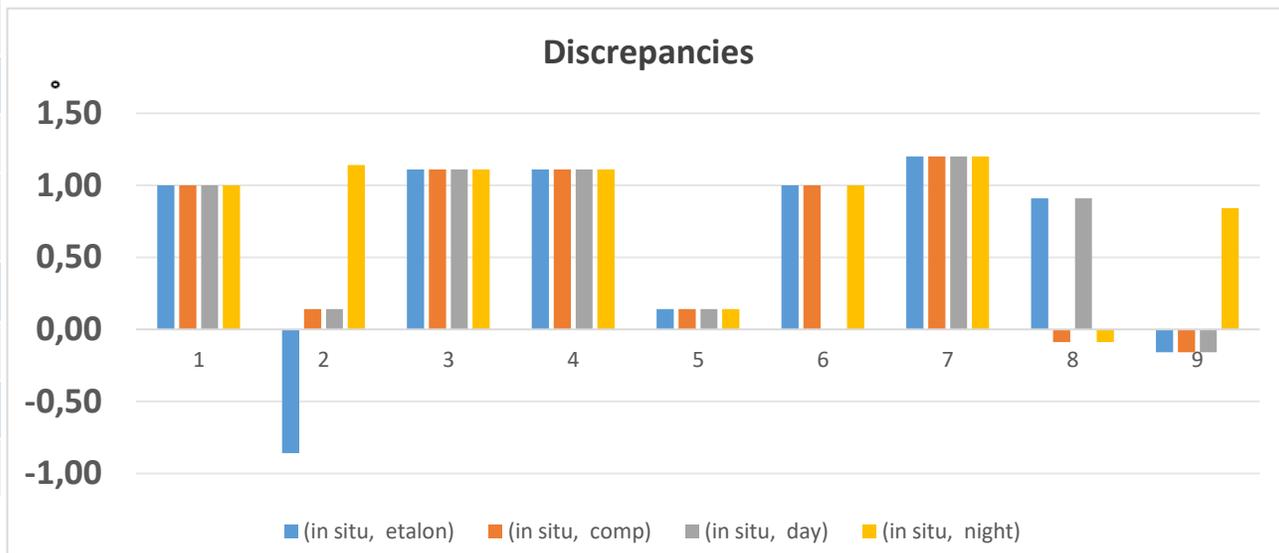
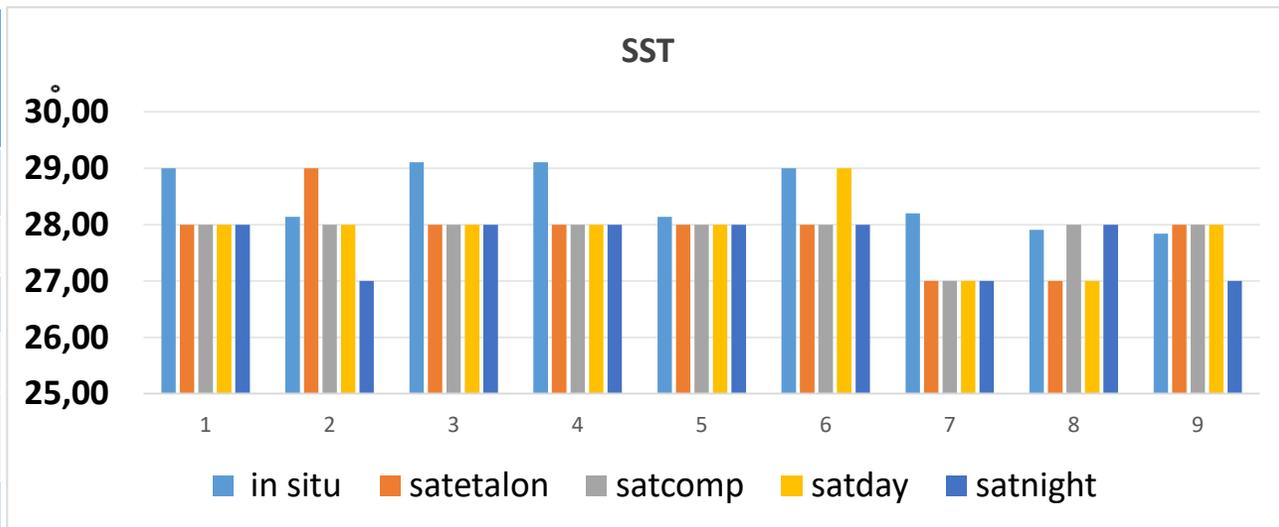
0,078°	0,087°	0,088°	0,066°
--------	--------	--------	--------

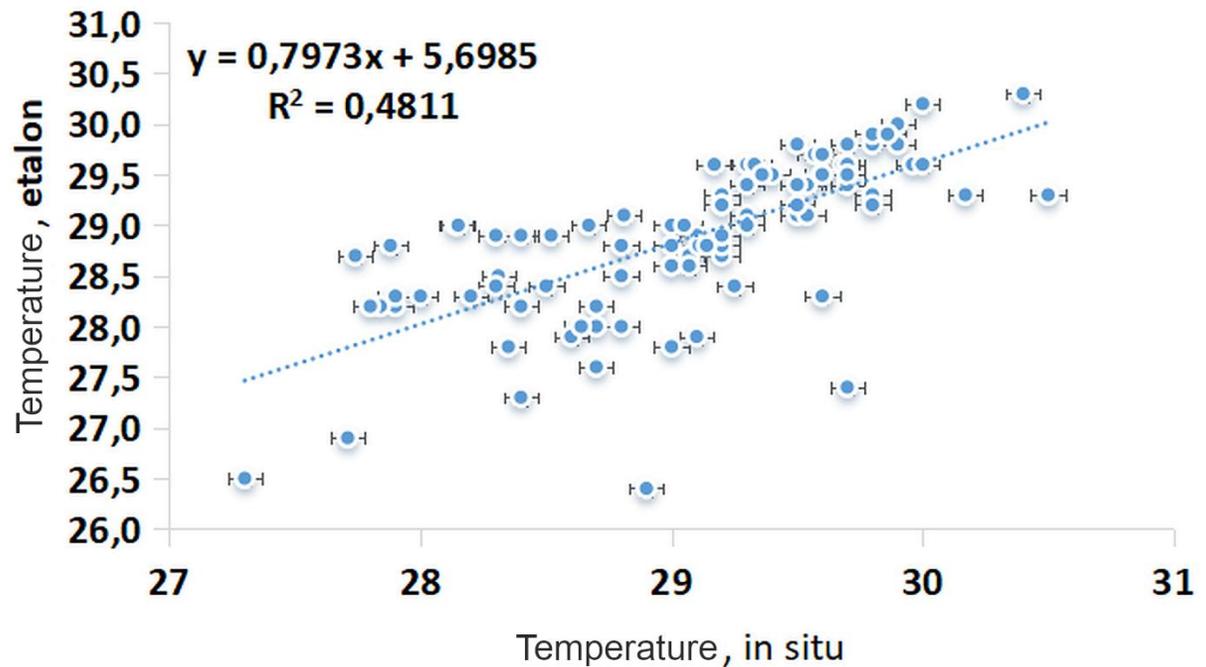
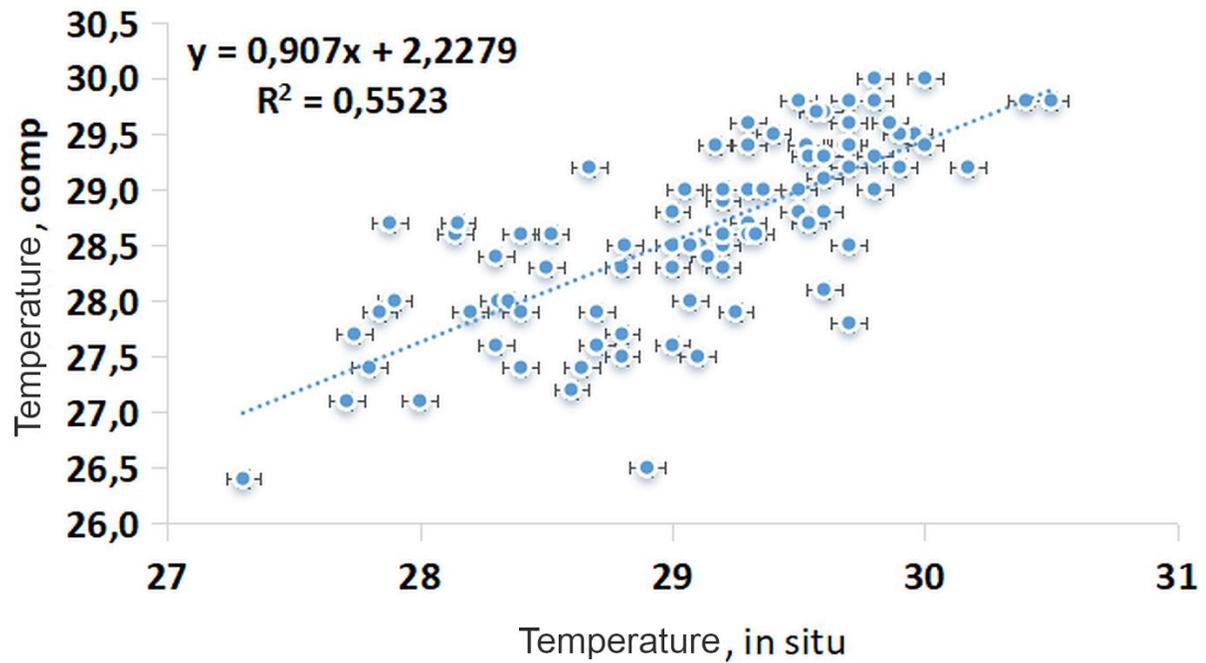
## Средняя невязка, лето-осень

comp	etalon	day	night
0,29°	0,16°	0,31°	0,71°

### Оценка точности среднего

0,075°	0,073°	0,076°	0,087°
--------	--------	--------	--------





Корреляция спутниковых  
композиционных и  
эталонных значений ТПО  
с измерениями ТПО с  
буев

## Анализ полученных невязок показал

1. Эталонная (за 10 дней) и композиционная (за 3 дня) карта ТПО наиболее близки по значениям к непосредственным измерениям с буйков.
2. Среднеквадратичное отклонение для невязок во все сезоны лежит в пределах от  $0,5^{\circ}\text{C}$  до  $0,7^{\circ}\text{C}$ , что является хорошим показателем при точности расчетов, лежащей в диапазоне от  $0,05^{\circ}\text{C}$  до  $0,1^{\circ}\text{C}$ .
3. Коэффициент регрессии композиционной ТПО с измерениям ТПО in situ составляет 0.9, а у эталонной ТПО - 0.8.
4. Средняя невязка для композиционной ТПО лежала в диапазоне  $0.2 - 0.46^{\circ}\text{C}$ . *(Данная точность является достаточной для потребителей, связанных с рыболовством)*

### *Развитие нового подхода к построению композиционных карт ТПО по спутниковым данным*

*В настоящее время проводятся работы по использованию значений ТПО, восстановленных по измерениям микроволновых радиометров AMSR-2 и WindSat, для получения ежедневных всепогодных композиционных карт ТПО.*

*Однако, значения ТПО, получаемые из микроволновых данных, существенно отличаются по пространственному разрешению, что может приводить к появлению на композиционных картах ТПО ложных фронтов.*