



РОССИЙСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

# Исследование применимости открытых данных для оценки температуры поверхности океана по данным космического аппарата "Метеор-М" №2-3

*С.В.Парамонов,  
А.И.Васильев,  
А.В.Крылов*



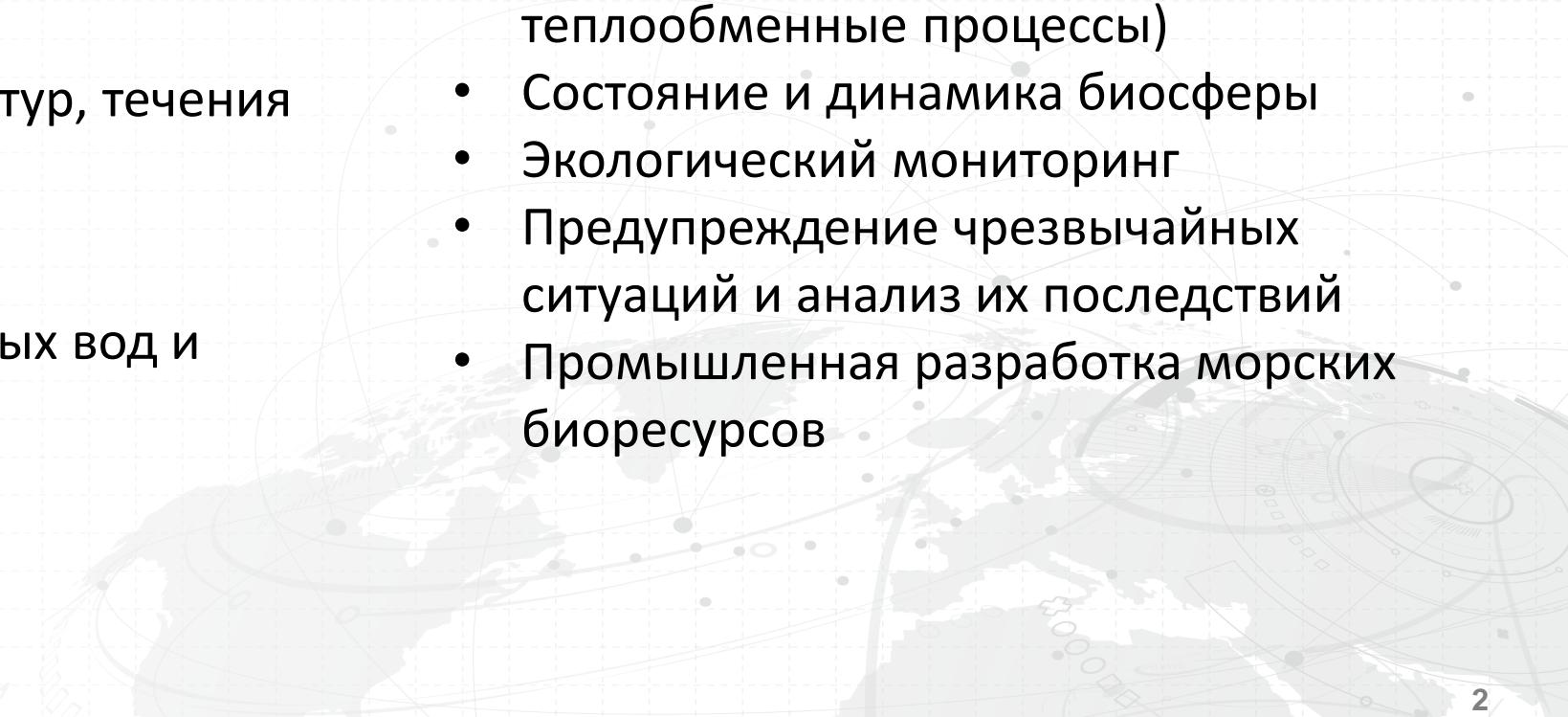
# Применение данных ТПО

Температура поверхности океана (ТПО), оцениваемая на глобальном уровне, является индикатором таких явлений как:

- пространственное распределение и динамика (суточная, месячная, сезонная...)
- фронты, перепада температур, течения
- вихревые образования
- апвеллинги
- взаимодействие прибрежных вод и открытого океана.

## Приложения:

- Климатология и прогнозирование погоды
- Океанология (гидрологические и теплообменные процессы)
- Состояние и динамика биосферы
- Экологический мониторинг
- Предупреждение чрезвычайных ситуаций и анализ их последствий
- Промышленная разработка морских биоресурсов



# Методы измерения

Пассивные: ИК-сканеры

Преимущества: Разрешение выше 1,5 км

Недостатки: Неполное покрытие в условиях облачности

Активные: Микроволновые сенсоры

Преимущества: Облачность не является препятствием

Недостатки: Более грубое разрешение (20-50 км)



# Характеристики оптических сканеров (спектрометров), установленных на зарубежных и отечественных КА

КА ДЗЗ	Тип съемочного прибора	Спектральные каналы	Пространственное разрешение	Полоса захвата
AQUA/TERRA	MODIS	36 каналов, в диапазоне 405 – 1438,5 нм	250, 500, 1000 м	2330 км
SNPP, NOAA-20, NOAA-21	VIIRS	22 канала, в диапазоне 402 нм -1249 нм	750 м 375 м для выделенных каналов	3040 км
Sentinel 3A/3B	OLCI	21 канал, в диапазоне 400 нм - 1020 нм	300 м (полное разрешение) 1200 м (усеченное разрешение)	1270 км
Метеор-М 2-2 (выведен из эксплуатации), 2-3, 2-4	МСУ-МР	6 каналов, в диапазоне 500 – 1250 нм	1100 м	2950 км

# Алгоритмы оценки ТПО по внешним данным

- Требуется наличие ИК-каналов 5,6 (1000-1250 нм)
- Требуется наличие каналов видимого диапазона для классификации пикселей (выделения облачности, ледовых поверхностей...)
- Наличие референсных значений ТПО (буйковые измерения, модельные данные)

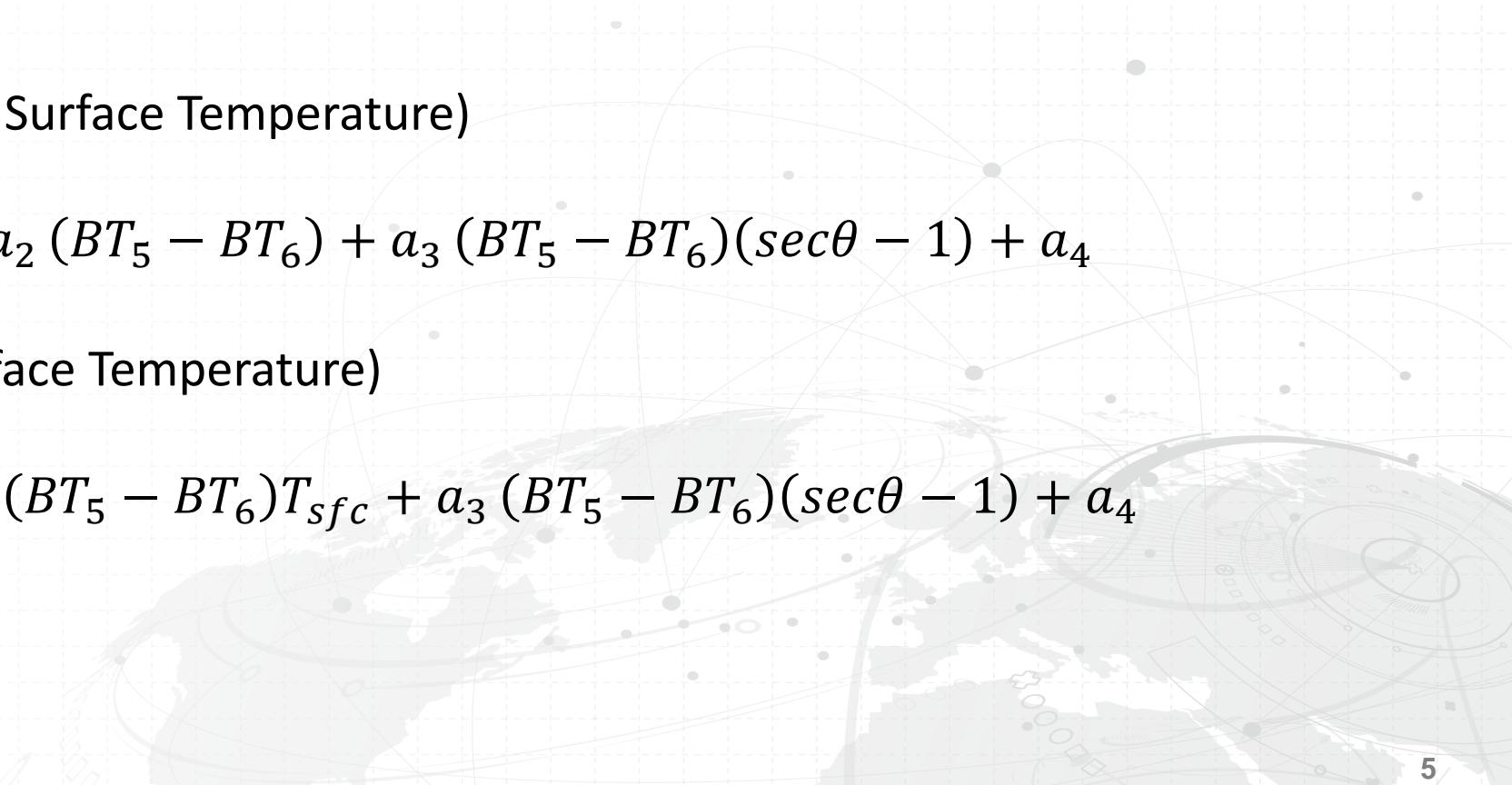
Расчетные алгоритмы:

- MCSST (Multichannel Sea Surface Temperature)

$$SST_a = a_1 BT_5 + a_2 (BT_5 - BT_6) + a_3 (BT_5 - BT_6)(\sec\theta - 1) + a_4$$

- NLSST (Nonlinear Sea Surface Temperature)

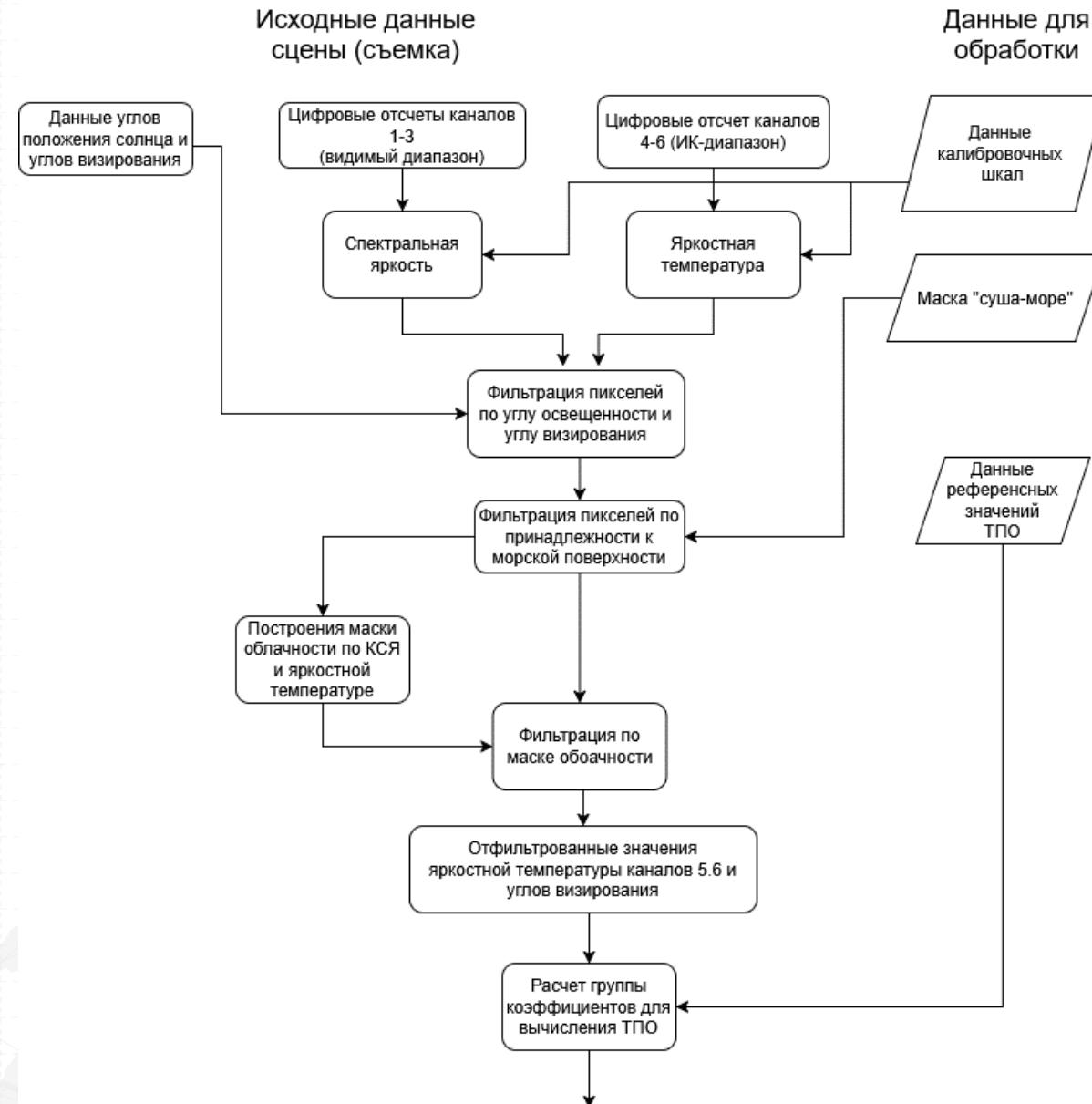
$$SST_a = a_1 BT_5 + a_2 (BT_5 - BT_6)T_{sf\,c} + a_3 (BT_5 - BT_6)(\sec\theta - 1) + a_4$$



## Исследуемые референсные данные

- Источник открытых данных: набор Multiscale Ultrahigh Resolution (MUR) L4
- (<https://cmr.earthdata.nasa.gov/search/concepts/C3378626164-POCLOUD.html>)
- Производится на регулярной основе командой GHRSSST (Group for High Resolution Sea Surface Temperature)
- Является ретроспективным анализом на основе интерполяции данных из нескольких источников
- Исходные данные: данные сканеров AMSR-E; JAXA Advanced Microwave Scanning Radiometer 2; MODIS (Aqua/Terra), радиометр Winsat, “in-situ” данные проекта NOAA iQuam.

# Алгоритм расчёта коэффициентов модели SST



## Данные для разработки и апробации методики:

- Район исследования – поверхность Черного моря
- Источник данных: МСУ-МР на КА Метеор –М 2-3
- Временной период: 01.12.2024 – 30.06.2025
- Количество сцен: 133
- Количество дней: 79

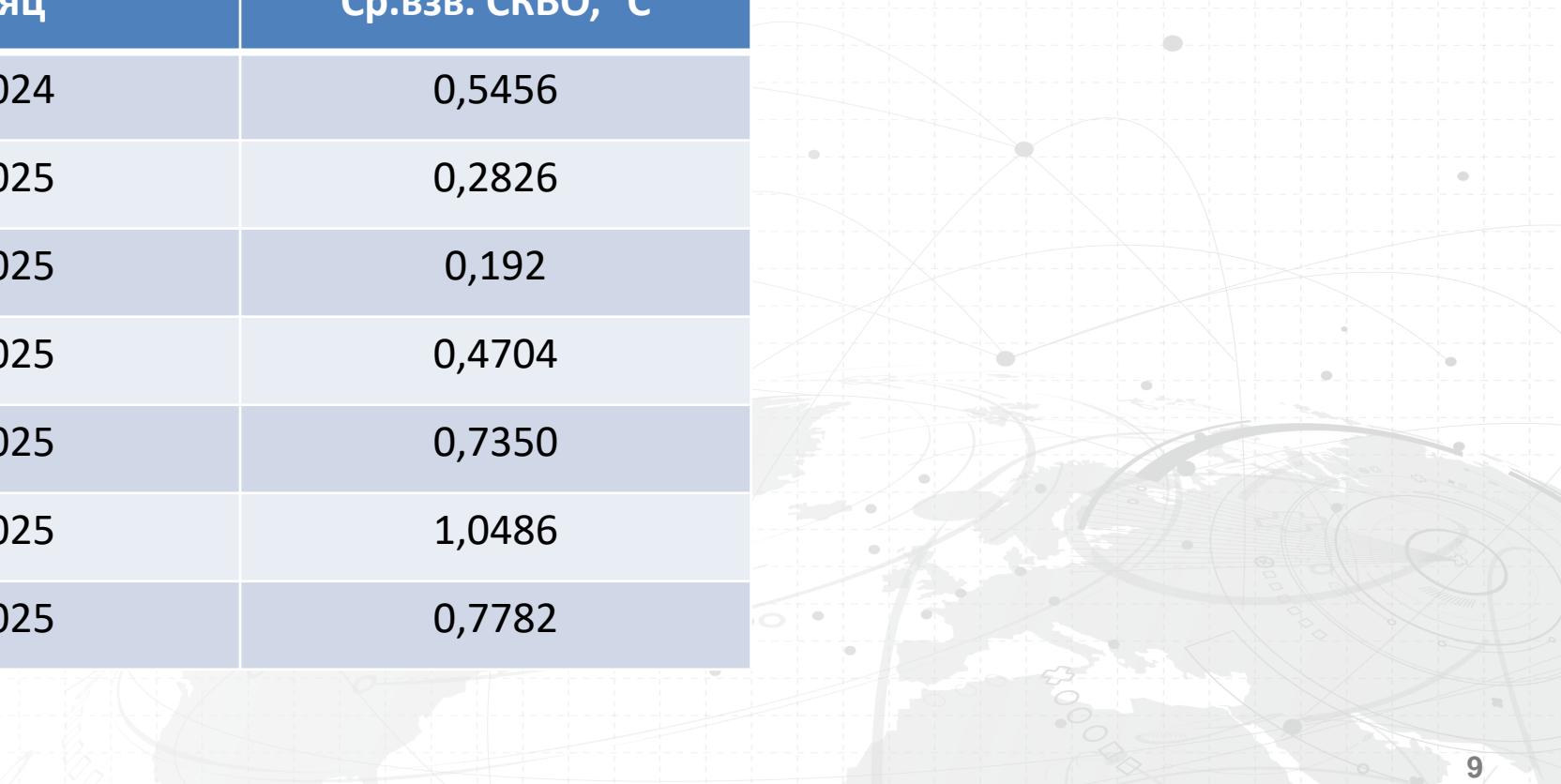


## Анализ полученных оценок

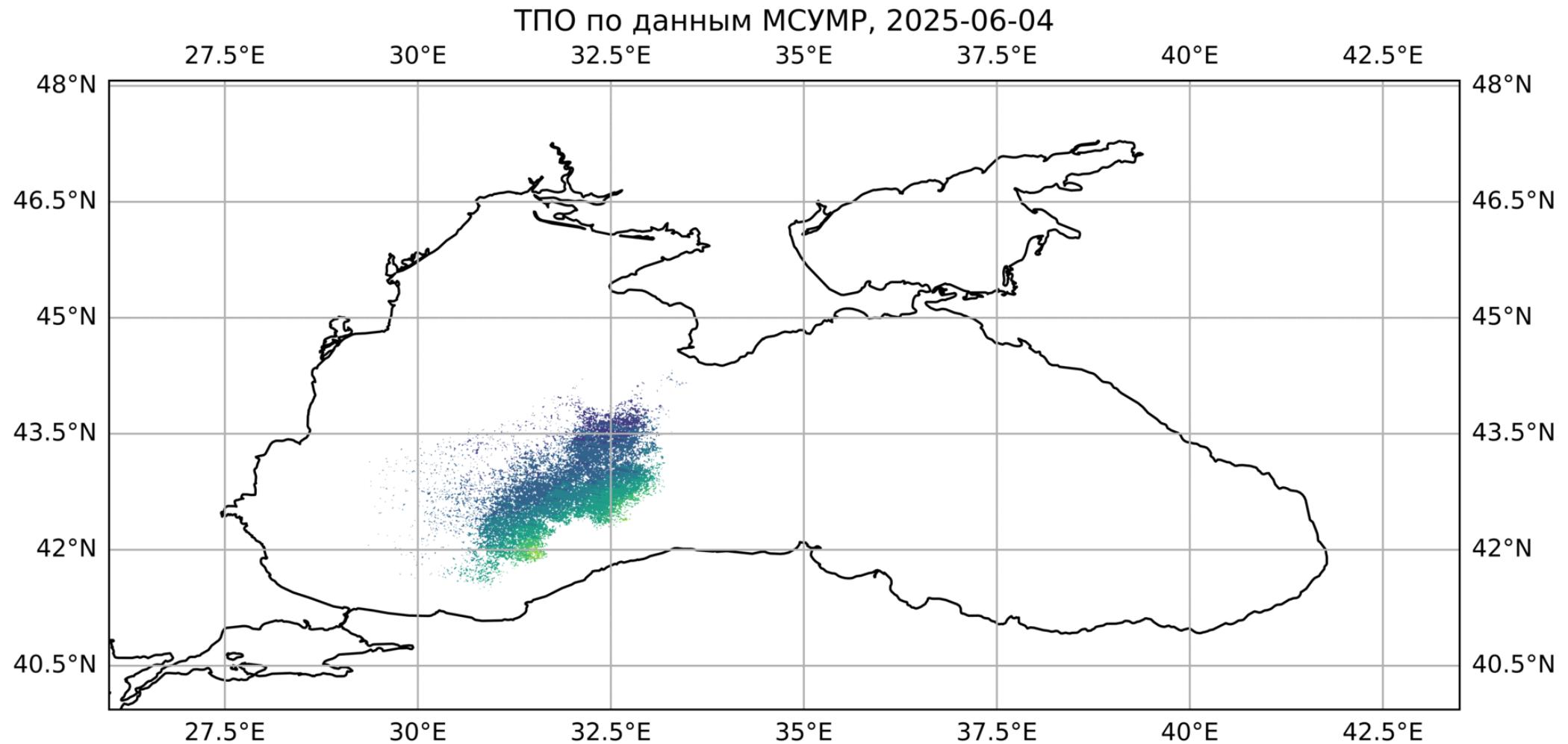
Средневзвешенная ошибка (среднеквадратичное отклонение) – 0,8079°C

Средневзвешенные ошибки по месяцам:

Месяц	Ср.взв. СКВО, °C
12.2024	0,5456
01.2025	0,2826
02.2025	0,192
03.2025	0,4704
04.2025	0,7350
05.2025	1,0486
06.2025	0,7782



## Пример расчёта ТПО за месячный интервал

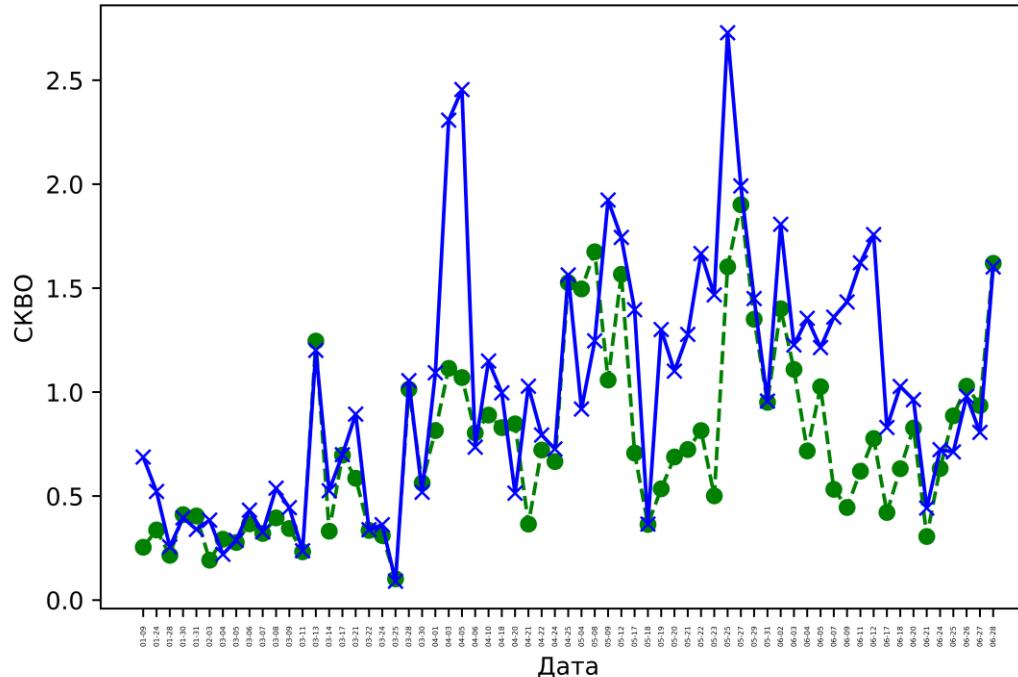


## Планируемое практическое применение

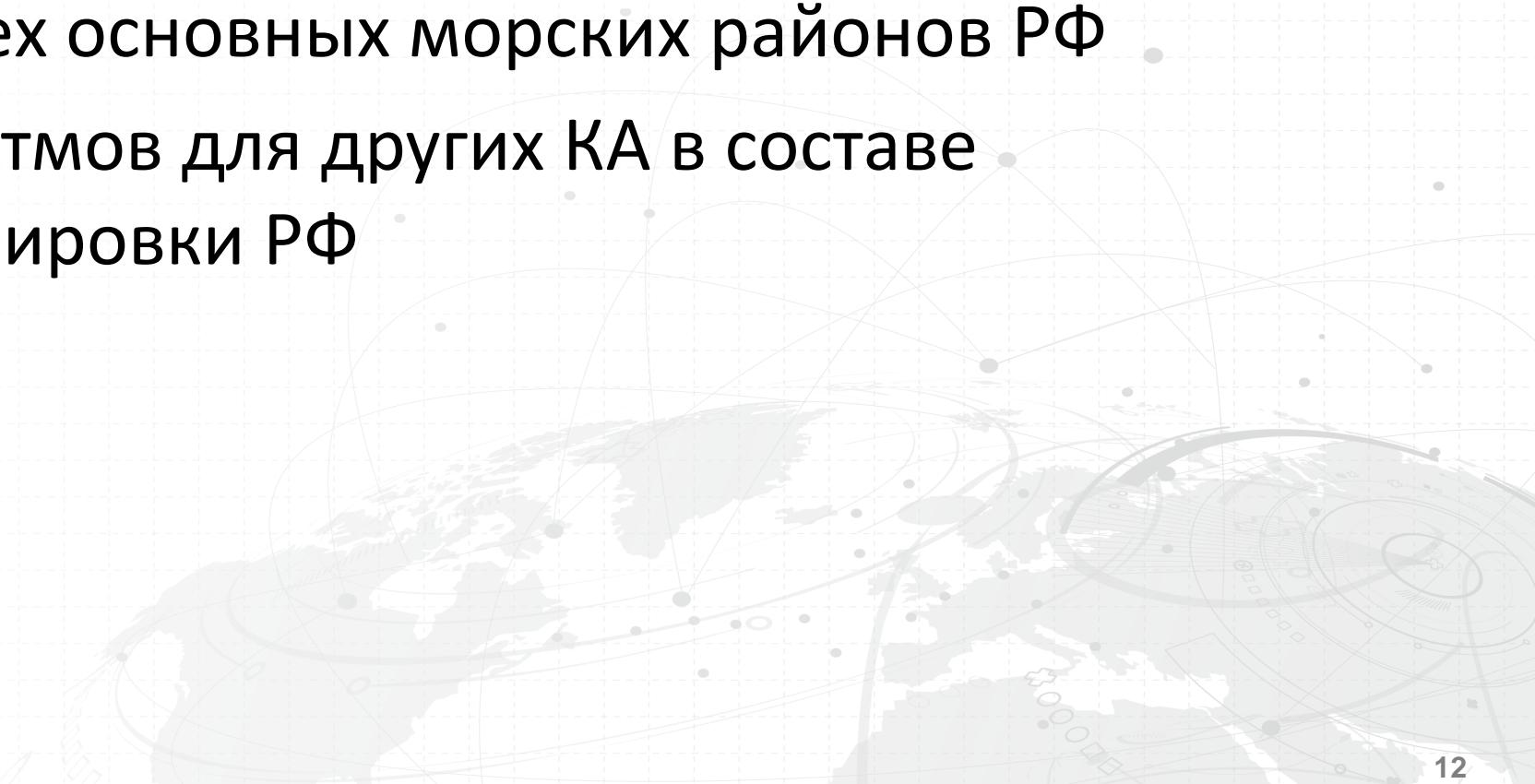
- Ведение базы коэффициентов для расчета ТПО (на основе заданного временного диапазона)
- Коэффициенты регламентировано пересчитываются
- Для расчёта ТПО используются коэффициенты, рассчитанные за предыдущий временной диапазон

Оценка вариации погрешности:

- Зеленая пунктирная линия: расчет ТПО без временного сдвига
- Синяя линия: расчет ТПО со сдвигом 7 дней



- Внедрение в виде продукта ТПО для сцен, получаемых КА Метеор-М №2-3
- Внедрение для всех основных морских районов РФ
- Разработка алгоритмов для других КА в составе спутниковой группировки РФ



Спасибо за внимание!

