



РАСЧЕТ АЭРОЗОЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИНЫ НАД МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПРАВОЧНОЙ ТАБЛИЦЫ ПО ДАНЫМ ПРИБОРА МСУ-МР СПУТНИКА «МЕТЕОР-М» №2

Докладчик: Кучма Михаил Олегович

Девятнадцатая Всероссийская Открытая конференция с международным участием «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)»

г. Москва, 15 – 19 ноября 2021 г.

Проблема

- Отсутствие технологии расчета АОТ 550 нм над морской поверхностью

| Прибор | МСУ-МР |
|---|---------------|
| Спектральные диапазоны (мкм) | 0.52-0.72 |
| | 0.7-1.1 |
| | 1.62-1.82 |
| | 3.5-4.1 |
| | 10.5-11.5 |
| | 11.5-12.5 |
| Ширина захвата (км) | 2900 |
| Пространственное разрешение (км) | 1 |

Существующие методы

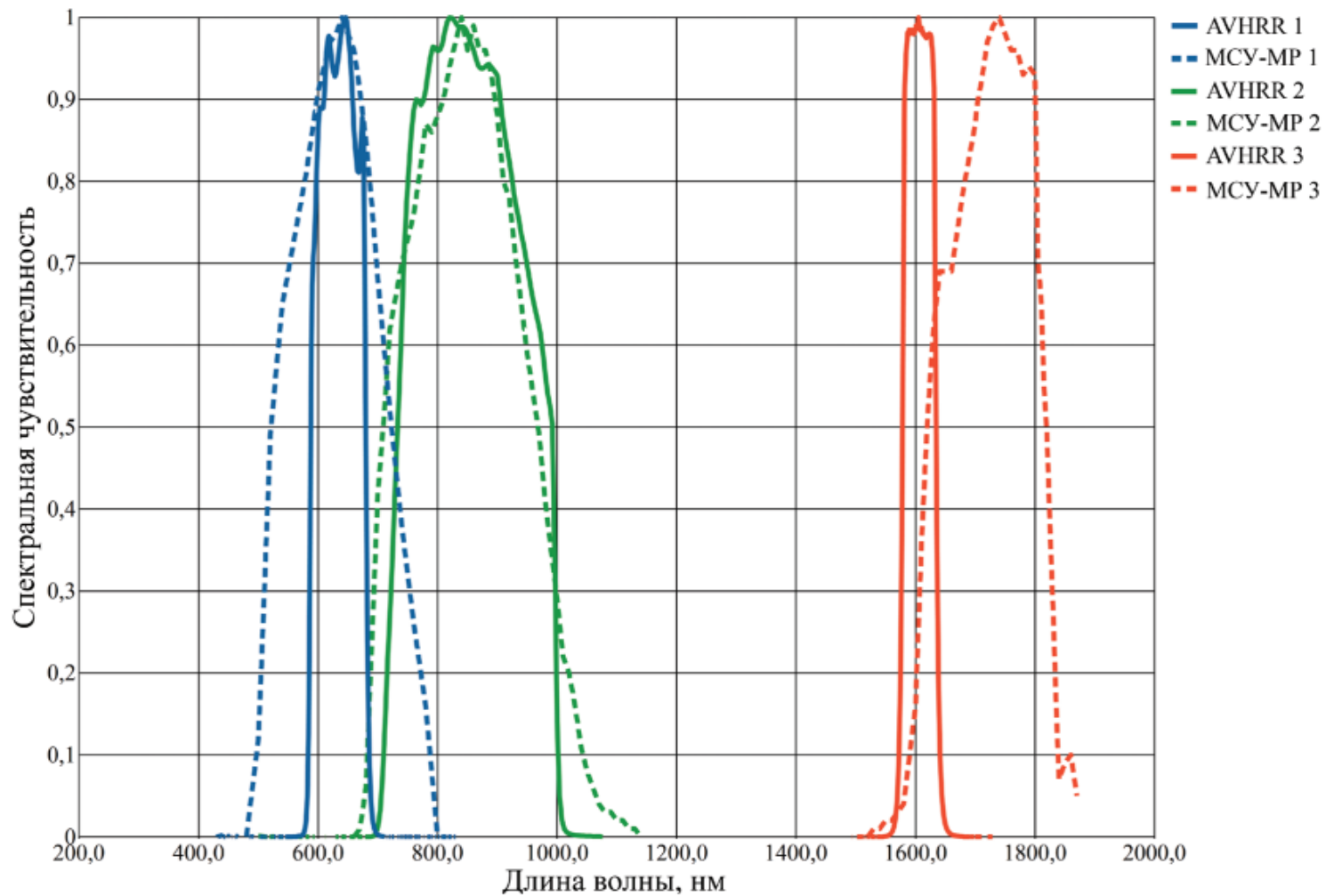
АОТ по данным прибора AVHRR

Двухканальный метод:

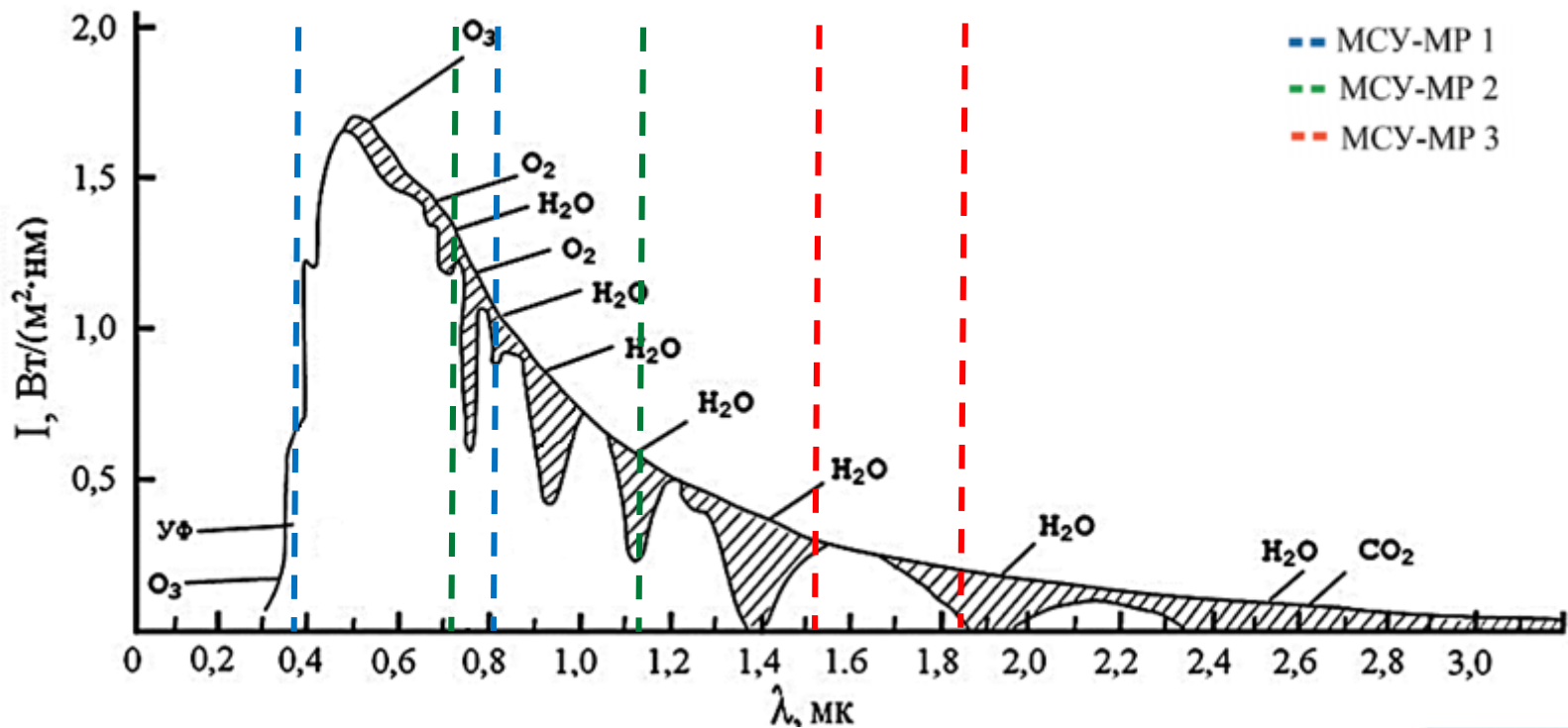
каналы 0,63 мкм и 0,83 мкм или 0,63 мкм и 1,61 мкм используются в поиске по сформированной 4-х мерной LUT таблице с использованием модели переноса излучения 6S

| Параметр LUT таблицы | Количество | Значения |
|---|------------|--|
| Зенитный угол Солнца (град.) | 15 | 0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66, 72, 78, 84 |
| Зенитный угол спутника (град.) | 15 | 0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66, 72, 78, 84 |
| Относительный азимутальный угол (град.) | 19 | 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180 |
| АОТ | 7 | 0.000, 0.147, 0.294, 0.588, 0.882, 1.176, 1.470 |

Спектральная чувствительность



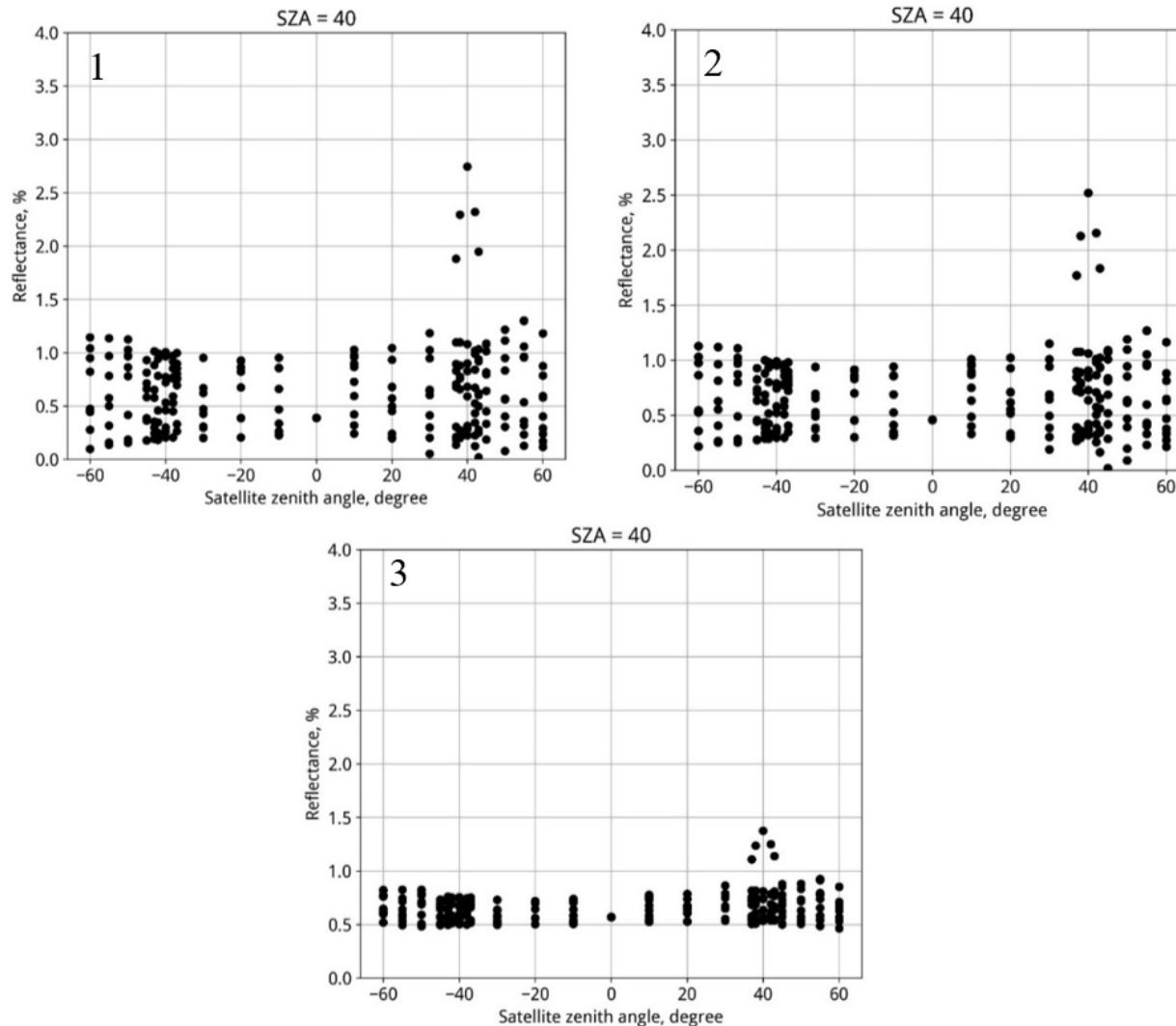
Влияние озона и водяного пара



Спектр солнечного излучения

Моделирование КСЯ

DISORT, a General-Purpose Fortran Program for Discrete-Ordinate-Method Radiative Transfer in Scattering and Emitting Layered Media



Интерфейс Python для модели 6S

КСЯ чистой воды:

Канал № 2: 0,00379

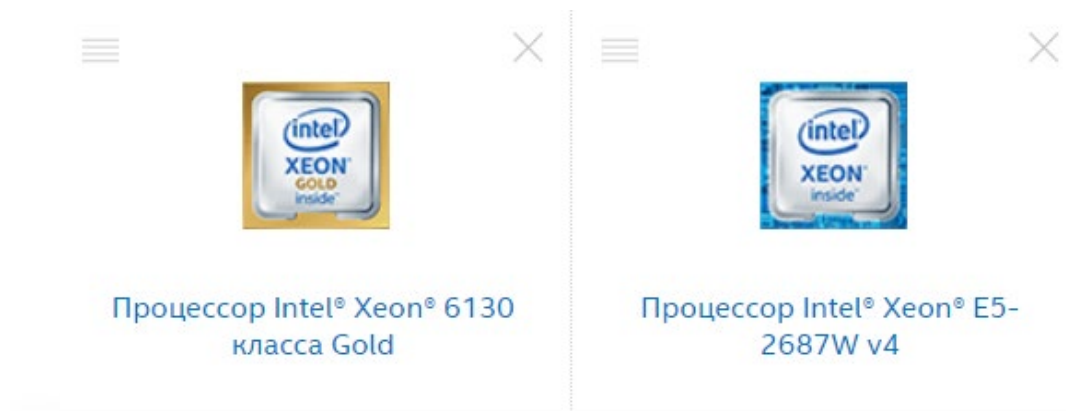
Канал № 3: 0,0001

```
from Py6S import *
# Set some parameters
s = SixS()
s.wavelength = Wavelength(0.471)
s.aot550 = 0.27
s.ground_reflectance =
GroundReflectance.HomogenousLambertian(0.36)

s.run()
print s.outputs.apparent_radiance
```

| Параметр LUT таблицы | Количество | Значения |
|---|------------|--|
| Зенитный угол Солнца (град.) | 9 | 0, 25, 40, 50, 60, 70, 75, 80, 85 |
| Зенитный угол спутника (град.) | 8 | 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 65 |
| Относительный азимутальный угол (град.) | 4 | 0, 60, 120, 180 |
| Озон (DU) | 6 | 220, 270, 300, 350, 400, 600 |
| Водяной пар (см) | 8 | 0.0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2.5, 10.0 |
| АОТ | 11 | 0.0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.5, 0.7, 1.3, 5.0 |

Используемое оборудование

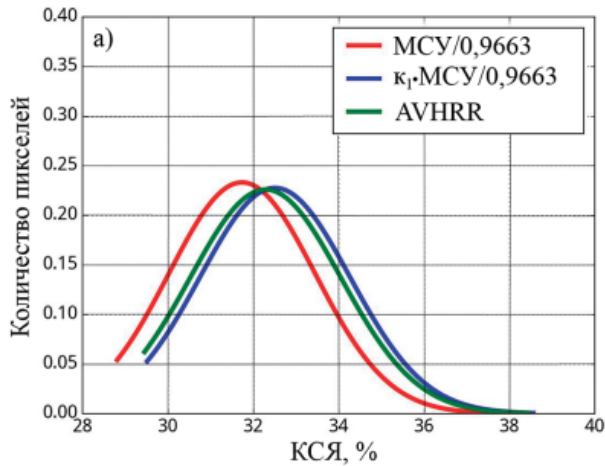


Производительность

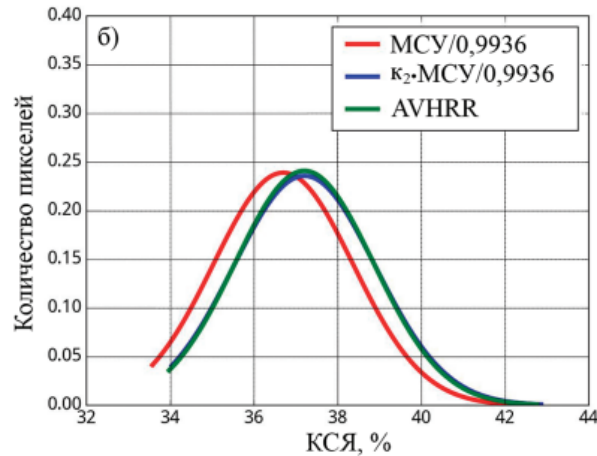
| | | |
|---|------------------|--------------------------|
| Количество ядер | > 16 | 12 |
| Количество потоков | > 32 | 24 |
| Базовая тактовая частота процессора | > 2,10 GHz | 3,00 GHz |
| Максимальная тактовая частота с технологией Turbo Boost | > 3,70 GHz | 3,50 GHz |
| Кэш-память | > 22 MB L3 Cache | 30 MB Intel® Smart Cache |

Интеркалибровка МСУ-МР

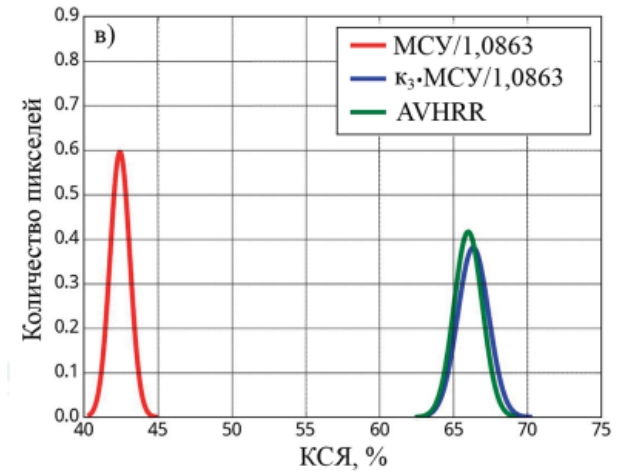
1 канал МСУ-МР и AVHRR



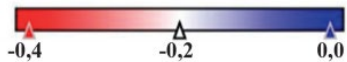
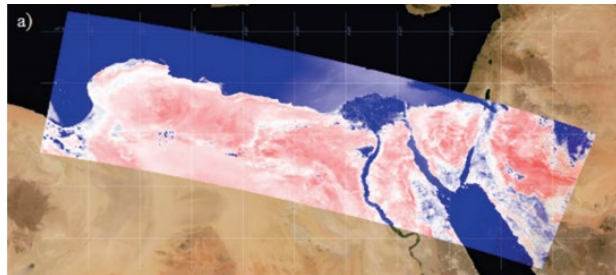
2 канал МСУ-МР и AVHRR



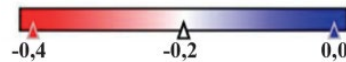
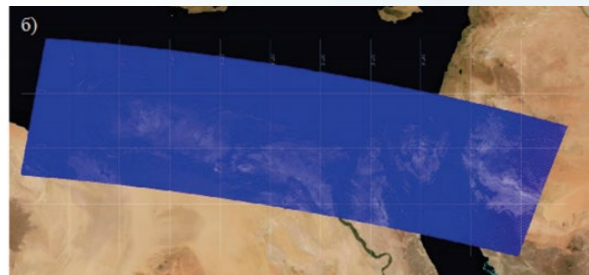
3 канал МСУ-МР и AVHRR



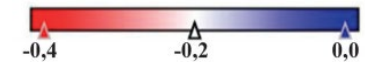
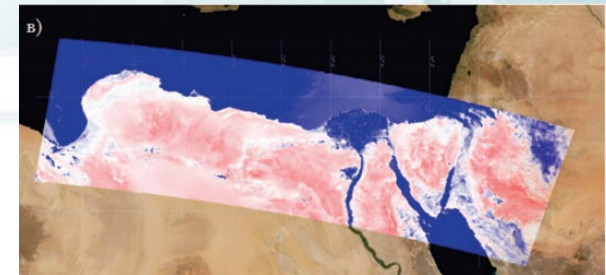
Индекс LSWI



AVHRR



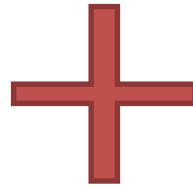
МСУ-МР до калибровки



МСУ-МР после калибровки

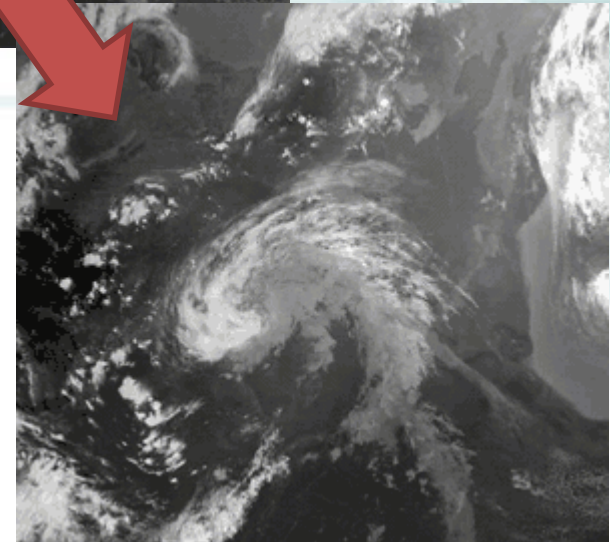
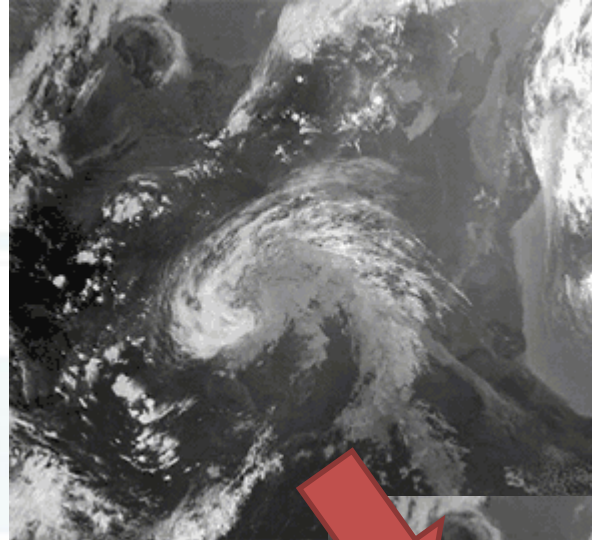
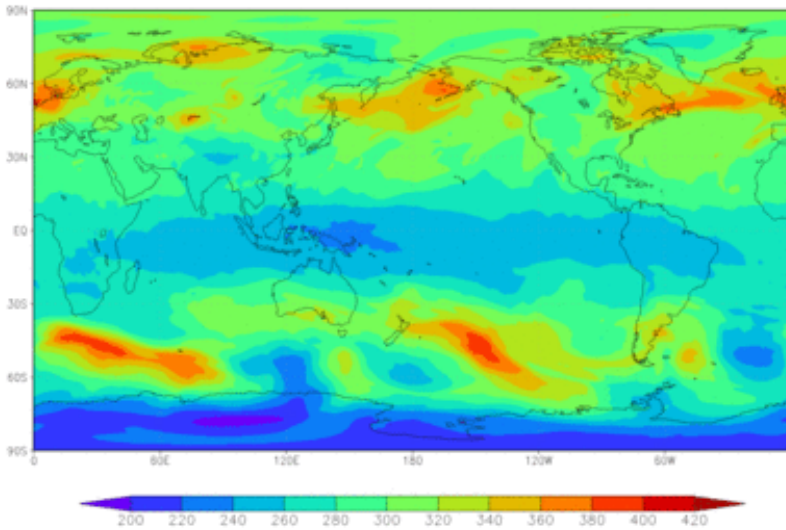
Озон и водяной пар

Модель
Global Forecast System
(GFS)



Интерполяция с использованием
оптического потока

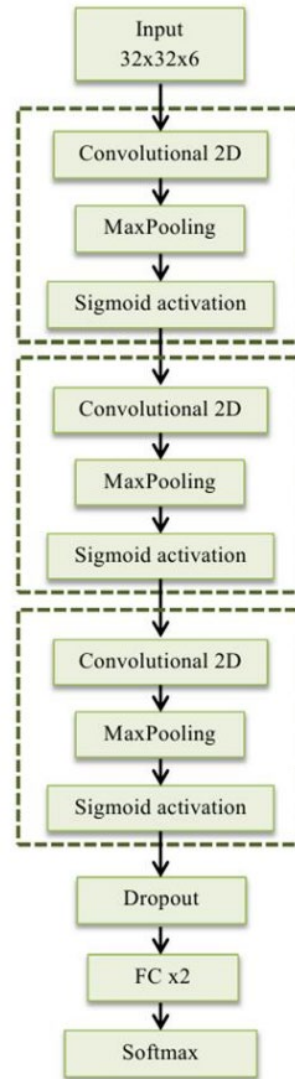
GFS Entire Atmosphere Total Ozone [Dobson]
00Z12JUL2012+000Hrs



Симоненко Е.В., Чудин А.О., Давиденко А.Н. Дифференциальный метод вычисления векторов перемещения облачности // Метеорология и гидрология. 2017. № 3. С. 29-39.

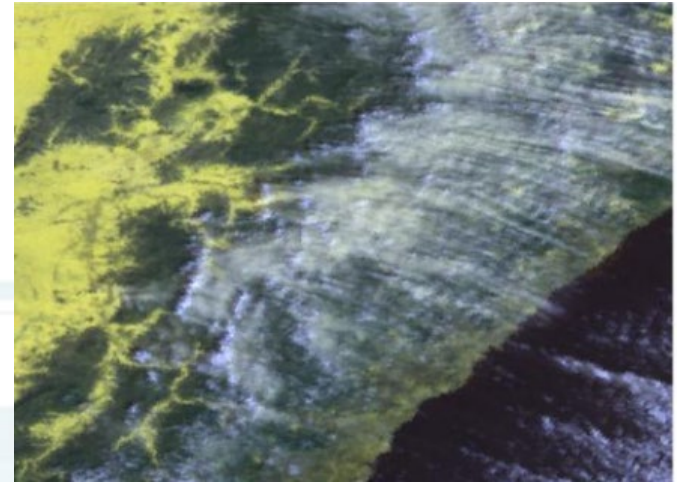
Маска облачности

Реализация CNN

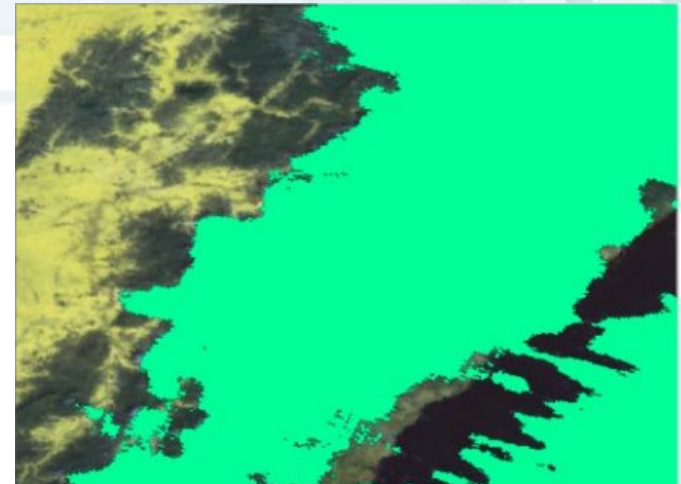


Результат

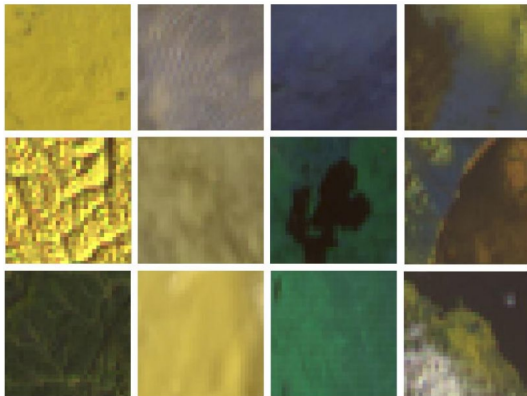
Цветосинтезированное изображение



Маска облачности



Выборка
текстурных данных



Солнечный блик

Угол солнечного блика $< 40^\circ$ - для таких значений расчет не проводится

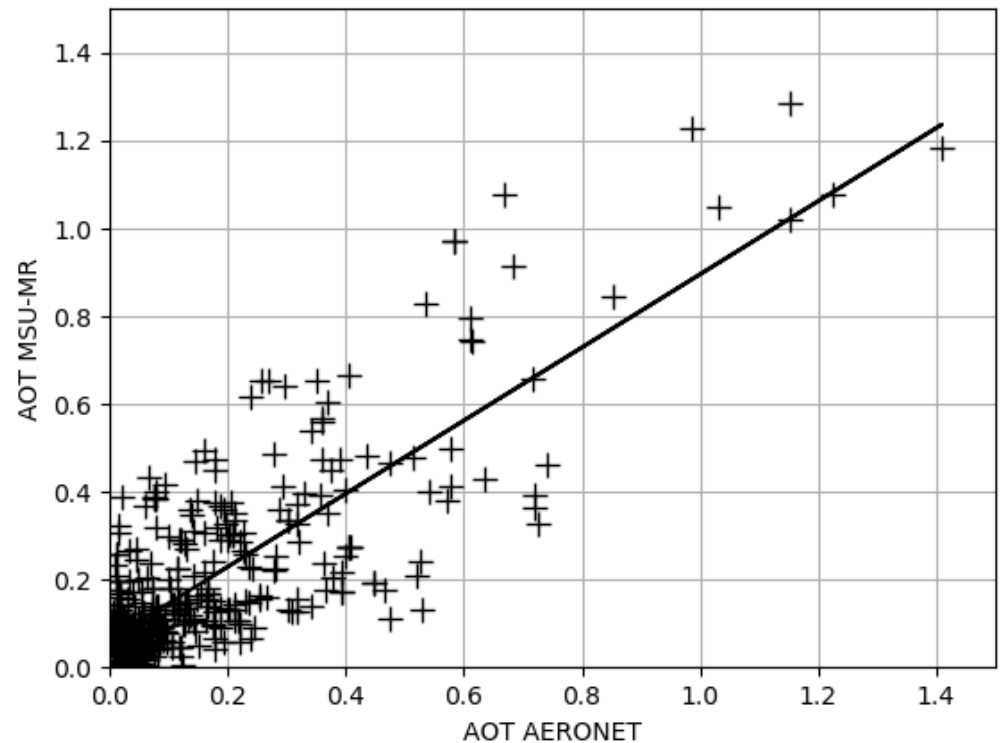
Коэффициент зеркального отражения солнечного света от поверхности океана:

$$\rho_{gl}(\theta_s, \theta_v, \varphi) = \frac{\pi P(Z_x', Z_y') R(n, \theta_s, \theta_v, \varphi, \lambda)}{4 \cos(\theta_s) \cos(\theta_v) \cos^4(\beta)}$$

где θ_s – зенитный угол Солнца, θ_v – зенитный угол спутника, φ – относительный азимутальный угол ($\varphi = \varphi_s - \varphi_v$, где φ_s – азимутальный угол Солнца, φ_v – азимутальный угол спутника), λ – длина волны, Z_x' и Z_y' – компоненты наклона поверхности, P – распределение наклона поверхности, выраженное рядом Грама-Шарлье, n – комплексный показатель преломления морской воды, $R(n, \theta_s, \theta_v, \varphi, \lambda)$ – коэффициент отражения Френеля, β – угол наклона поверхности.

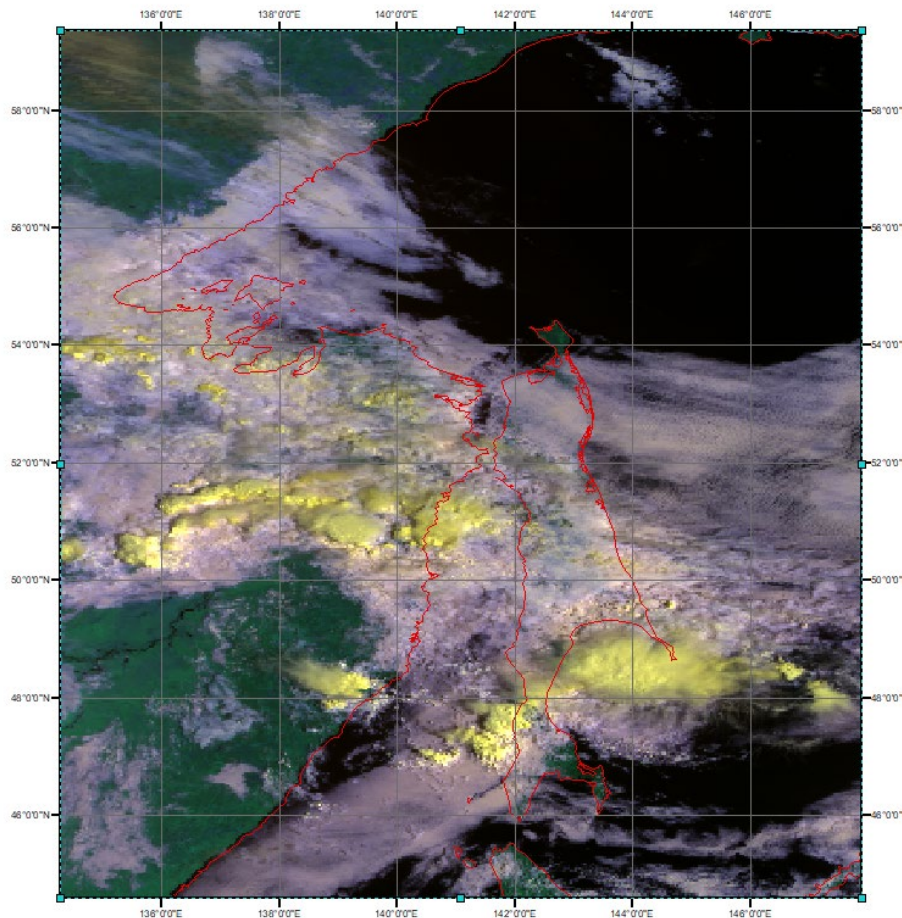
Валидация

AERONET:
2014-2017 гг.
14 островных станций
Корабельные измерения
Всего 380 наблюдений

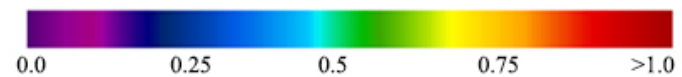
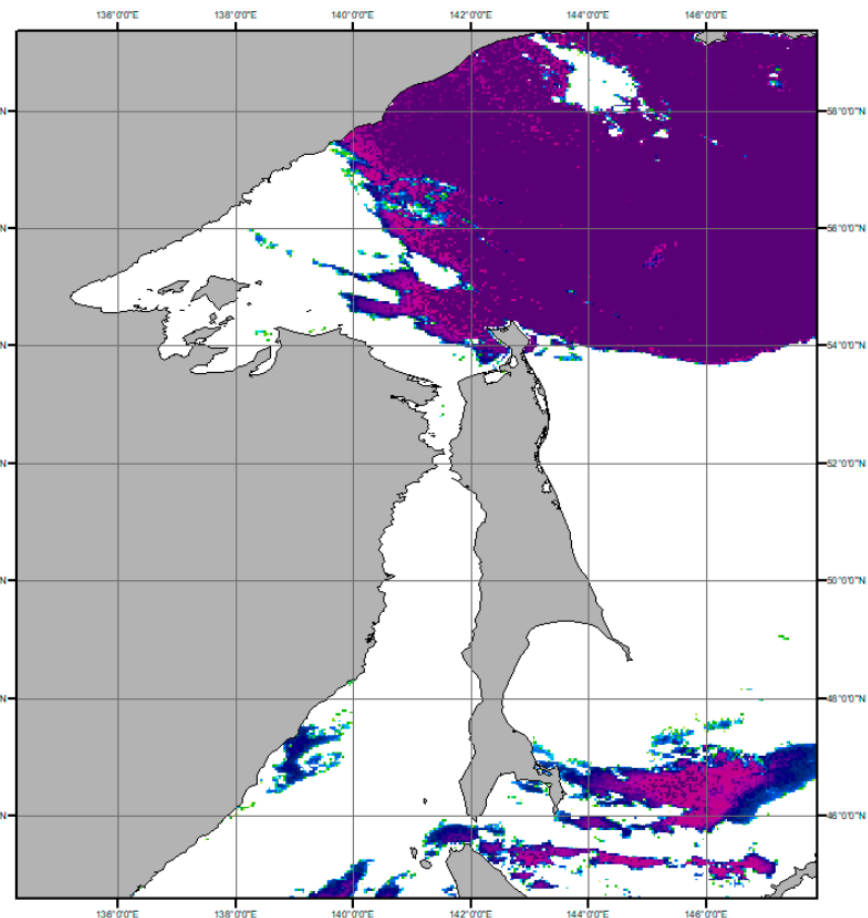


| | МСУ-МР |
|-------------------|--------|
| E_{mean} | 0,09 |
| E_{RMS} | 0,137 |
| R | 80,26 |

Пример карты

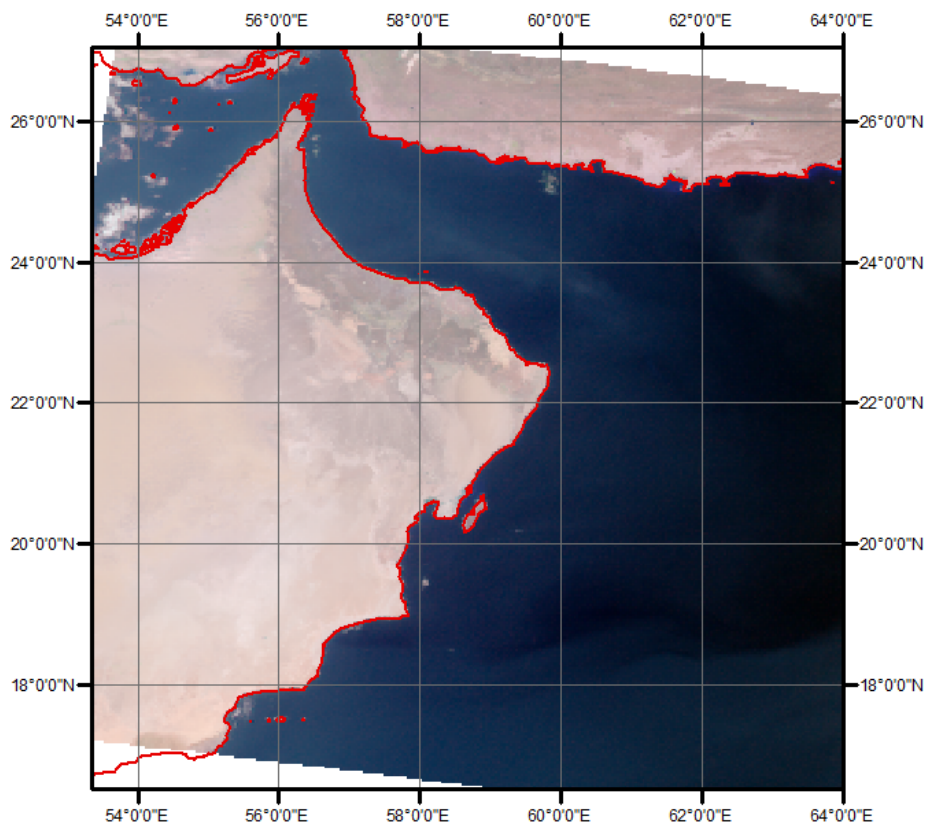


Цветосинтезированное изображение
МСУ-МР, КА «Метеор-М» № 2

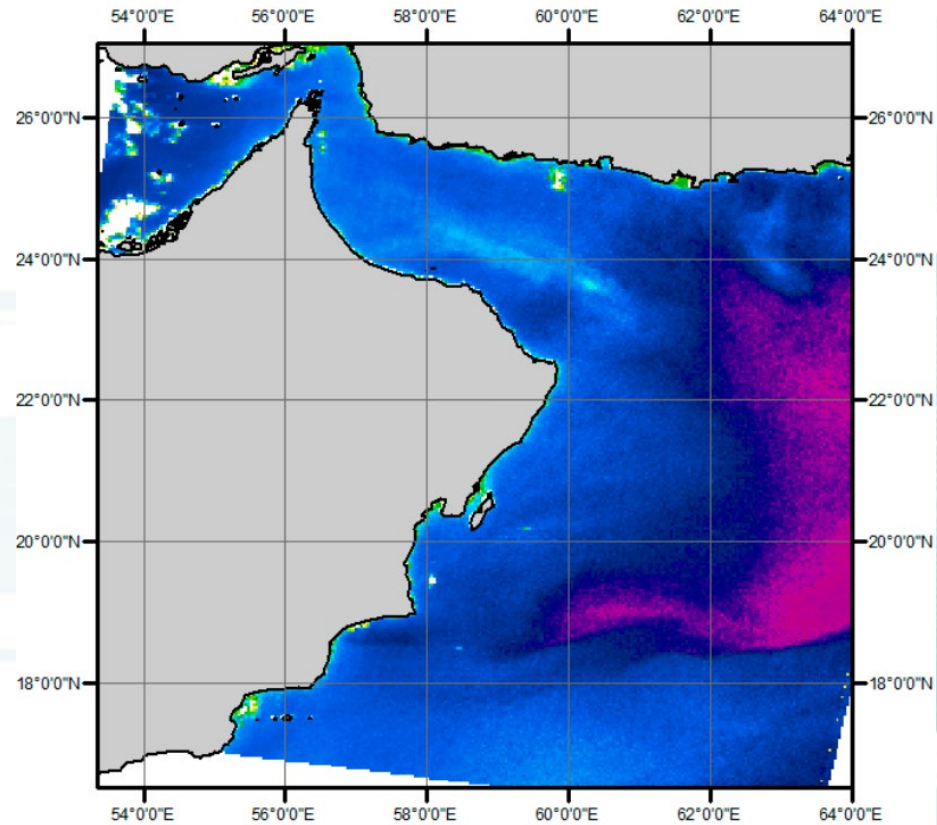


Аэрозольная оптическая толщина над морской поверхностью

Пример карты



Цветосинтезированное изображение
МСУ-МР, КА «Метеор-М» № 2



Аэрозольная оптическая толщина над морской поверхностью

Заключение

- Результат:
 - Разработанный метод расчета АОТ на длине волны 550 нм над морской поверхностью не уступает по точности зарубежным аналогам
- Планы:
 - Восстановление АОТ на длине волны 550 нм над сушей



Спасибо за внимание!

Дальневосточный центр
ФГБУ «НИЦ «Планета»
Россия, г. Хабаровск,
ул. Ленина, д. 18
тел.: 8-(4212) 21-43-11
факс: 8-(4212) 21-40-07
e-mail: m.kuchma@dvrspod.ru
<https://www.dvrspod.ru>