

Восьмая Всероссийская Открытая конференция
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

15– 19 ноября 2010 г., Москва

**Быстрый алгоритм восстановления
аэрозольной оптической толщины
атмосферы и альбедо поверхности по
спутниковым данным**

И.Л. Кацев, А.С. Прихач, Э.П. Зеге, А.А. Кохановский*
Я.О.Грудо,

*Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси,
Минск, Беларусь*

**Institute of Environmental Physics,
Bremen, Germany*



Алгоритмы определения аэрозольной оптической толщины атмосферы и альbedo поверхности по спутниковым данным

Алгоритмы NASA, ESA, BAER, JPL, AATSR, POLDER и т.д. для спутниковых оптических инструментов MODIS, MERIS, MISR, POLDER, AATSR и др.

Общее: использование метода lookup tables (LUT)

Его достоинство: значительное сокращение объема вычислений;

Недостатки: необходимость использования огромного массива предварительно рассчитанных данных;

необходимость практически полного пересчета и замены этого массива при изменении каких-либо параметров модели.



Отличительные особенности алгоритмов ART и FAR

ART (Aerosol Retrieval Technique)

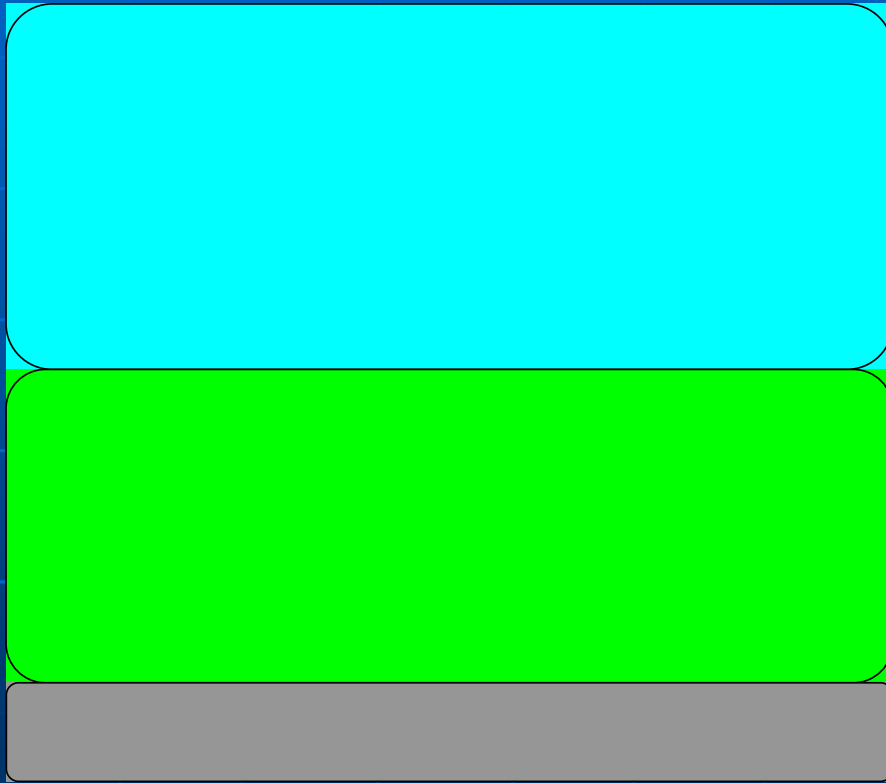
FAR (Fast Aerosol Retrieval)

- отказ от применения метода lookup tables
- возможность легко варьировать модели атмосферы, изменять число используемых длин волн и их положение в спектре;
- возможность адаптации для обработки данных различных спутниковых оптических инструментов



Модели атмосферы и поверхности в алгоритме ART

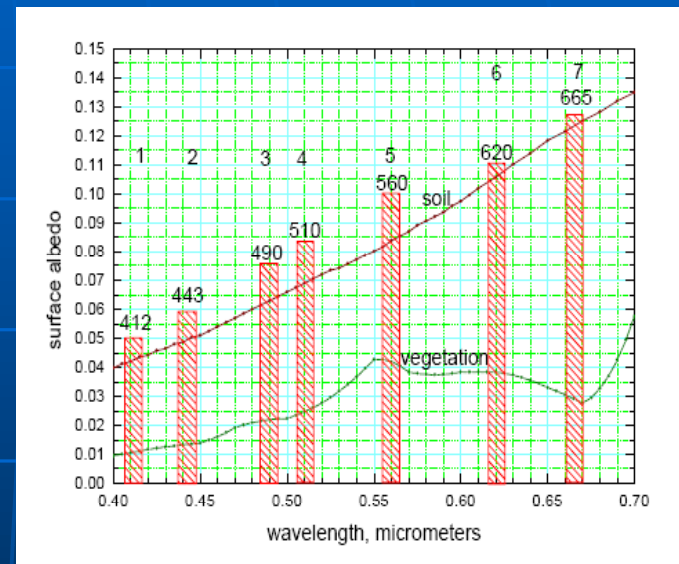
Модель атмосферы



Расчет коэффициентов яркости верхнего слоя "2" проводится по алгоритму RAY с учетом поляризации излучения и вертикальной стратификации атмосферы.

Модель поверхности

$$r_s(\lambda) = cr_{veg}(\lambda) + (1-c)r_{soil}(\lambda);$$



Вода

$$r_s(\lambda) = cr_{clear}(\lambda) + (1-c)r_{coastal}(\lambda)$$

Подготовка входных данных

Предварительная обработка, расчет $R_{TOA}(\lambda)$
 $\lambda = 412.5, 442.5, 490, 510, 560, 620, 665, 865$ and 885nm

Дискриминация облачных пикселей ($R_{TOA}(560) > 0.4$)

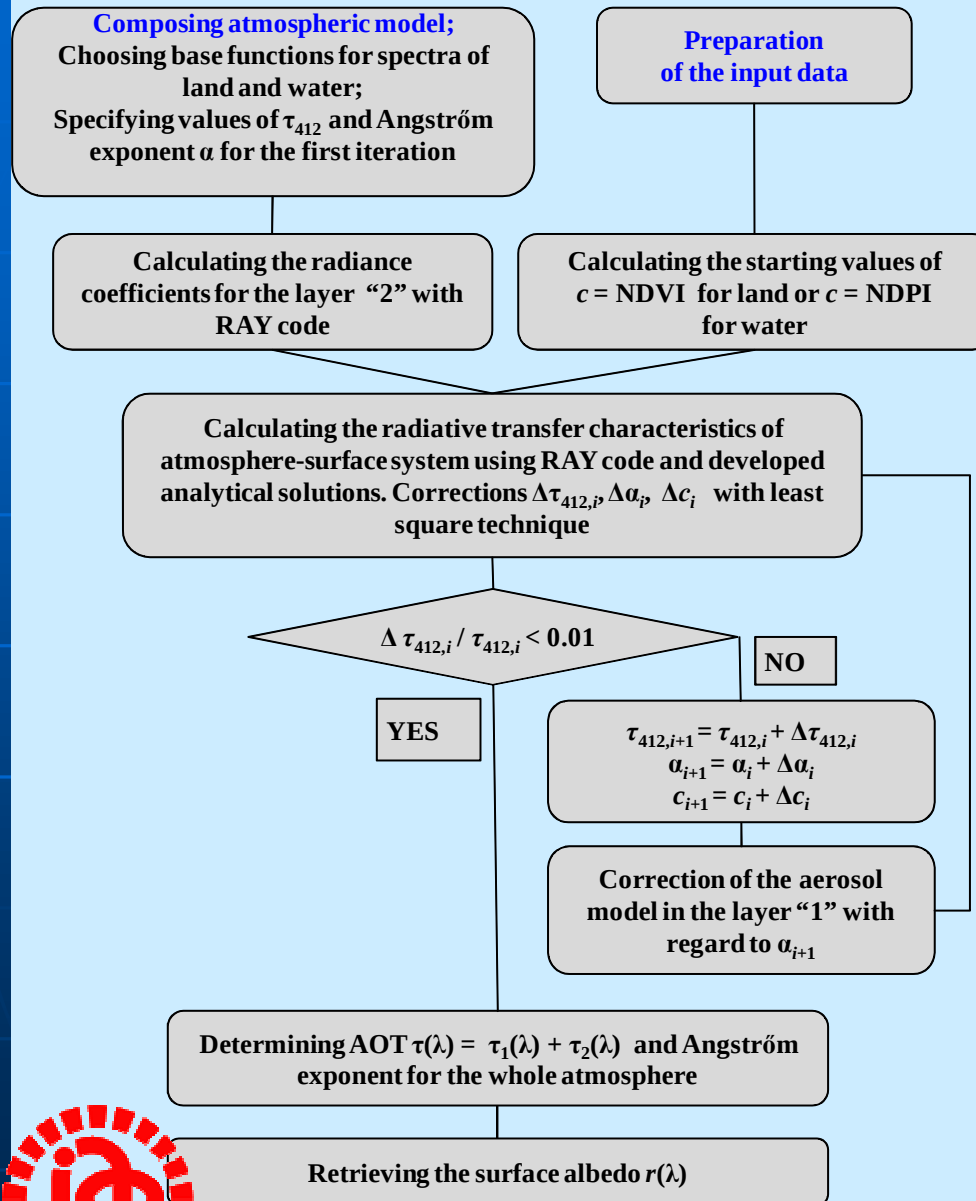
Разделение пикселей по типу:
земля ($R_{TOA}(885) > 0.1$) и вода ($R_{TOA}(885) < 0.1$)

Отбор пикселей типа земля ($NDVI < 0.10$)

Выделение блока пикселей для осреднения,
Исключение 30% пикселей с наибольшими и 20% с
наименьшими значениями $R_{TOA}(665)$.

Расчет $\bar{R}_{TOA}(\lambda)$ для центрального пикселя блока.

FLOW CHART OF FAR



$$r_s(\lambda) = cr_{veg}(\lambda) + (1 - c)r_{soil}(\lambda)$$

$$\tau_1(\lambda) = \tau_{412} \left(\frac{\lambda}{\lambda_{412}} \right)^{-\alpha}$$

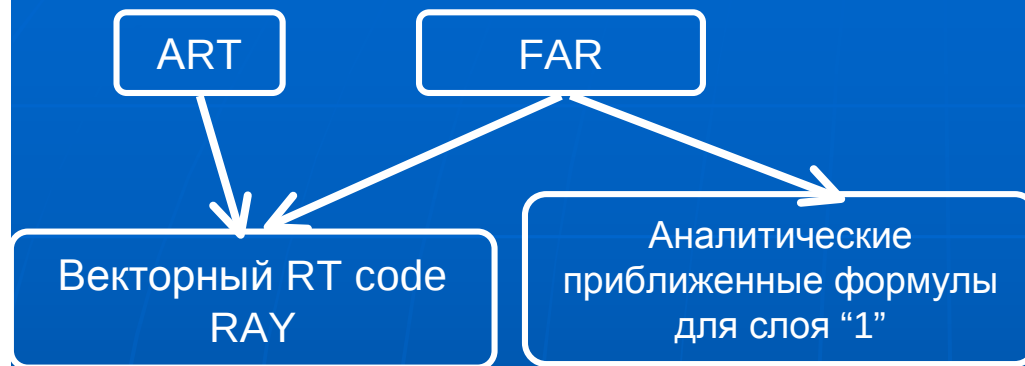
Искомые параметры:

$$\tau_{412}, c, \alpha$$

α - параметр Ангстрема



Процедуры расчета радиации



RT-radiative transfer,
(Процедуры расчета радиации)

- RT in the layer "2" is computed accurately with the RAY code.
- *To speed up satellite data processing FAR uses approximate analytical solutions (Modified Sobolev approximation, MSA) in the troposphere layer "1".*
- MSA includes Truncation of the phase function + Sobolev approximation
- The radiative interaction between the atmosphere layers "1" and "2" are computed using newly-developed semi- analytical approach



I.L. Katsev et al. Atmos. Meas. Tech., 3, 1403-1422, (2010)



Код RAY

Быстрый и точный код RAY использует:

- 2-х компонентный метод (Е.Р. Zege et al., *Appl. Opt.* **32**, 2803–2812, 1993);
- Аналитическую теорию переноса поляризованного излучения в средах с анизотропным рассеянием (Е.Р. Zege and L. I. Chaikovskaya, *JQSRT*, **55**, 19–31, 1996);
- Технику сложения – удвоения слоев (J. Lenoble , *Radiative Transfer in Scattering and Absorbing Atmospheres*, 1985)

Внешняя экспертиза точности

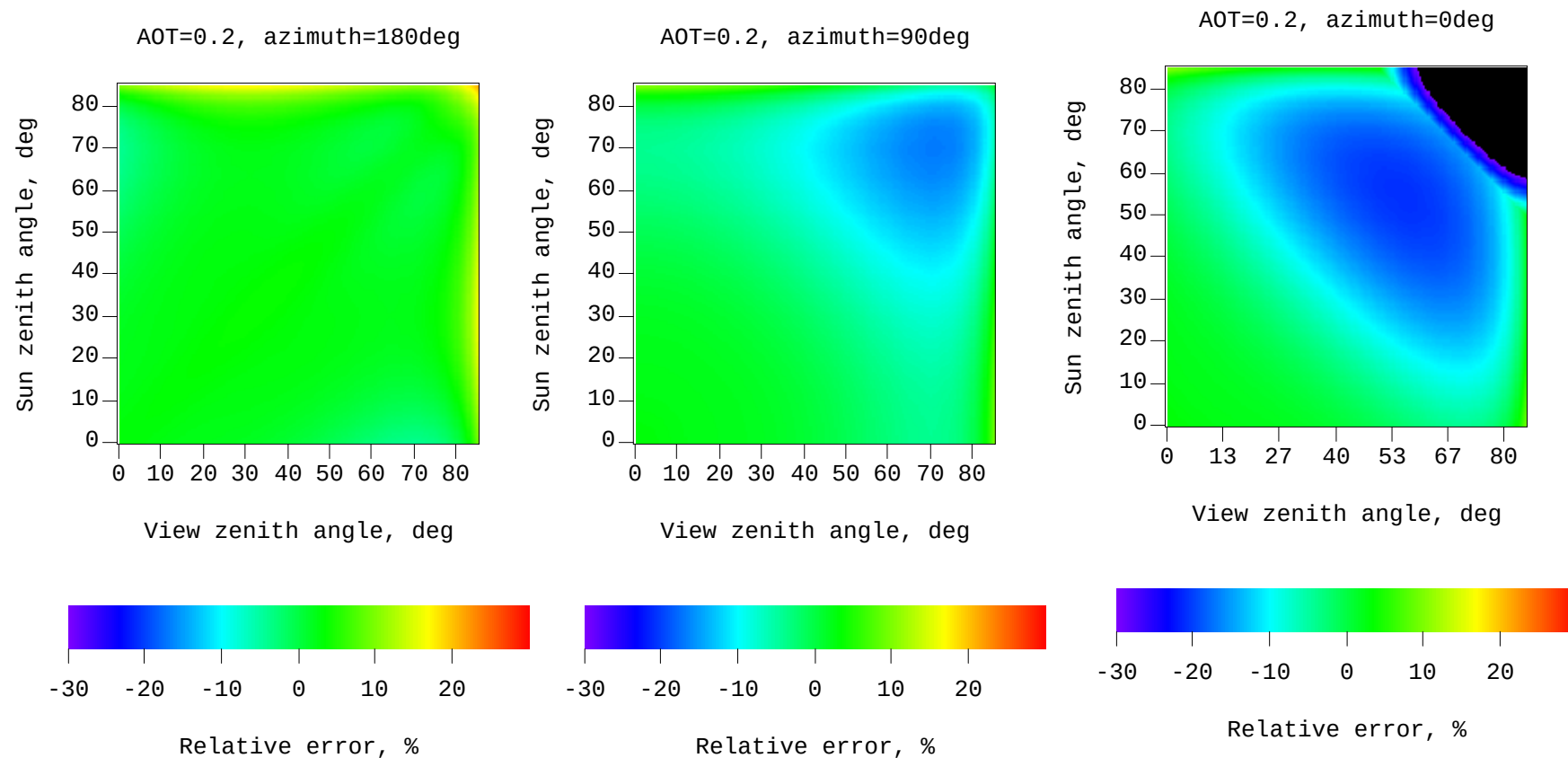
1. G. Kattawar (Texas University)
H. Tynes et al. *Appl. Opt.*, **40**, 400-412, 2001.
2. Сопоставление лучших современных кодов
A.A.Kokhanovsky et al., *JQSRT*, **111**, 1931-1946, 2010

RT procedures in *FAR*

- RT in the layer “2” is computed accurately with the RAY code.
- *To speed up satellite data processing FAR uses approximate analytical solutions for the RT (Modified Sobolev approximation, MSA) in the troposphere layer “1”*
- *MSA includes Truncation of the phase function + Sobolev approximation*
- The radiative interaction between the atmosphere layers “1” and “2” are computed using newly-developed semi- analytical approach



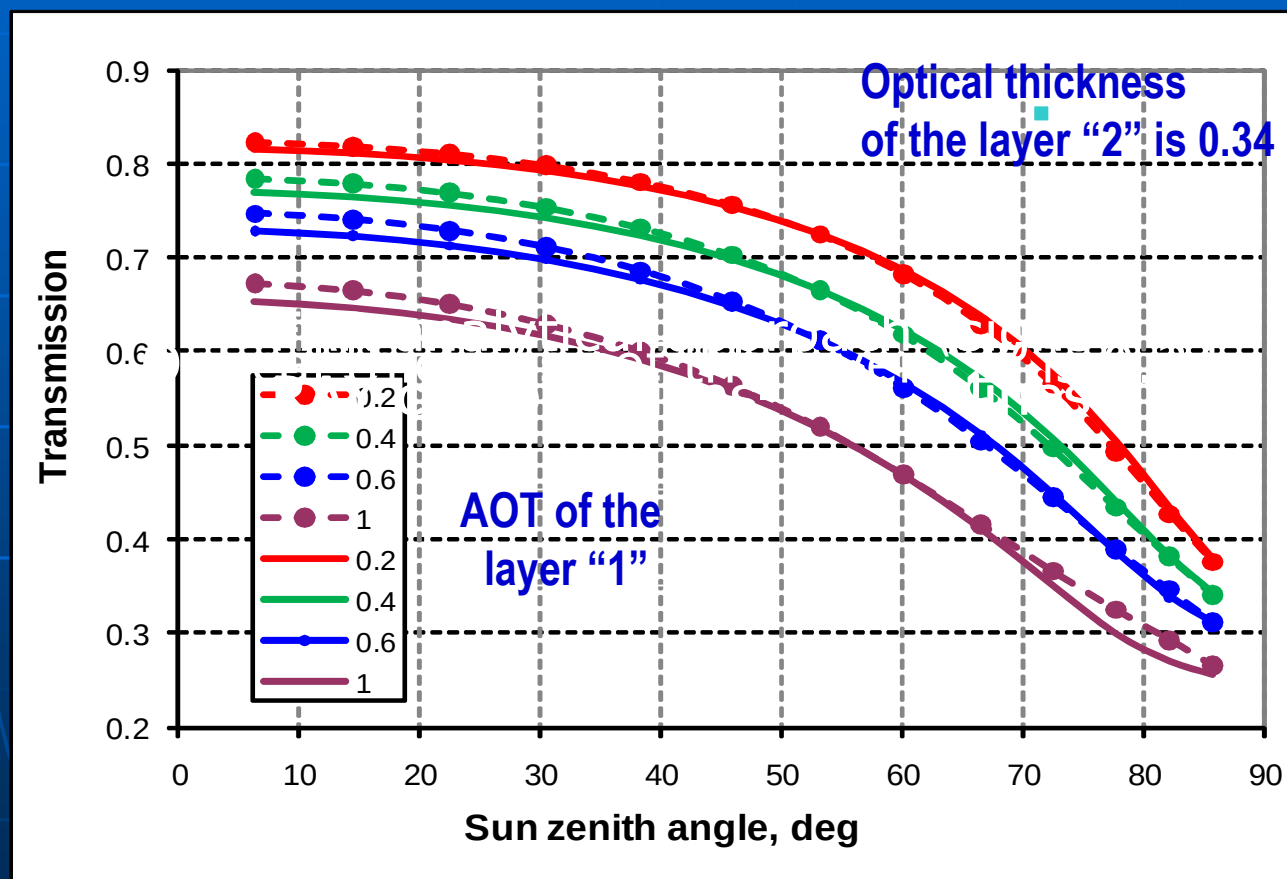
Relative errors of the MSA Reflectance from layer “1”



Optical thickness equal to 0.2



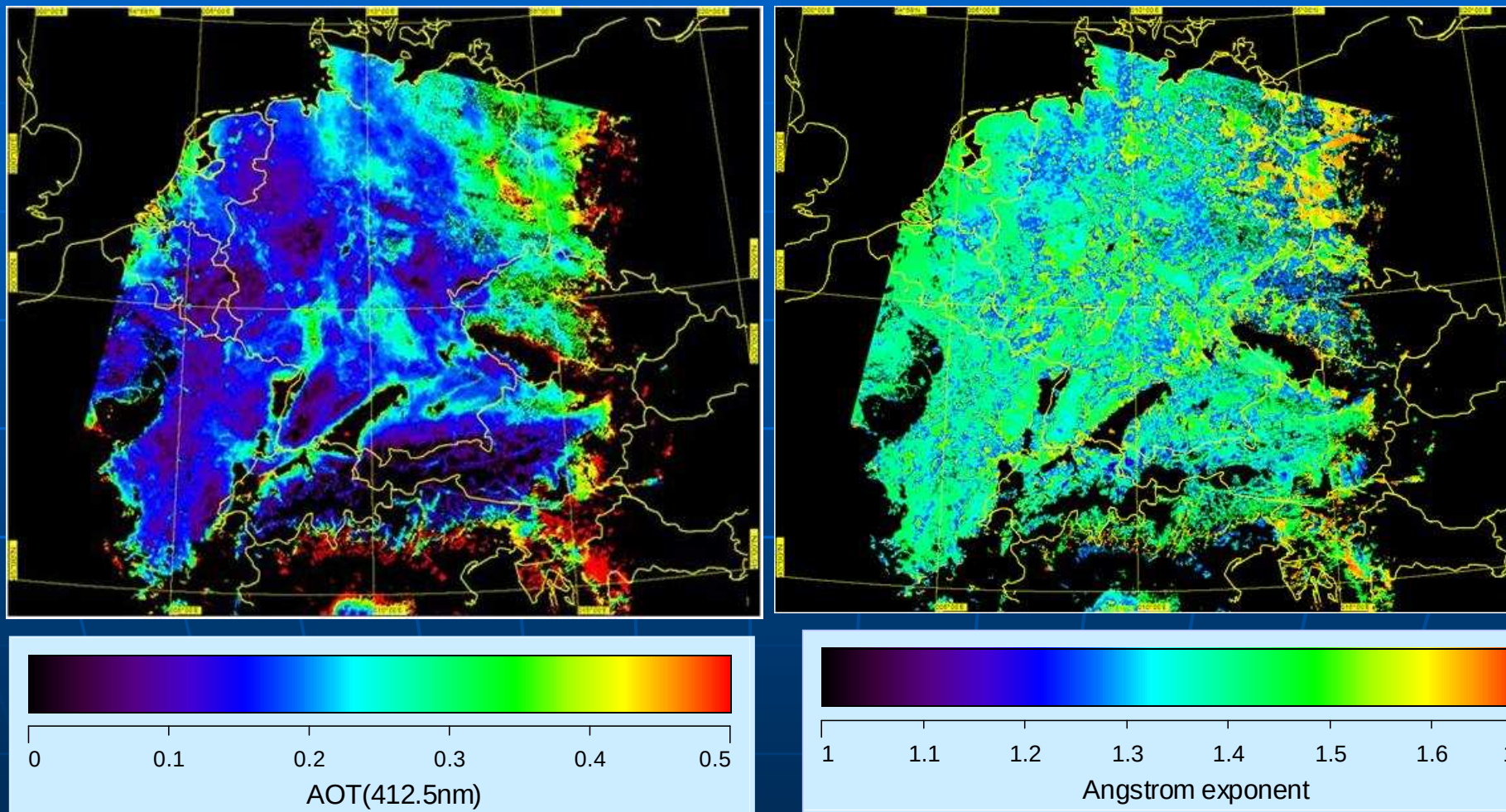
Accuracy of RT computations with the developed analytical approach including the radiative interactions between layers "1" and "2"



FAR analytical approach - signs
RAY computations - lines



Восстановление аэрозольной оптической толщины и параметра Ангстрема по данным MERIS



Германия, 13 октября 2005 г.

Верификация алгоритма

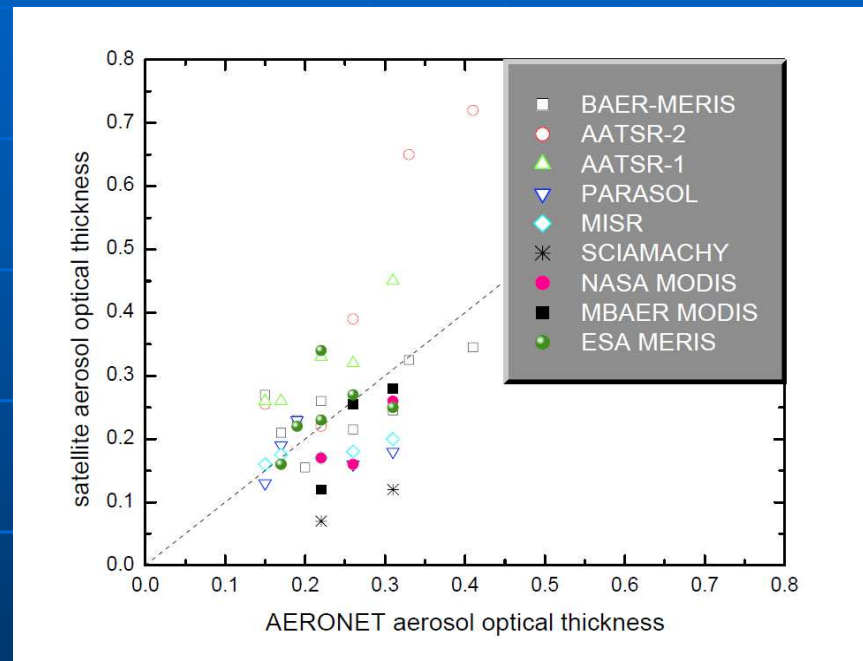
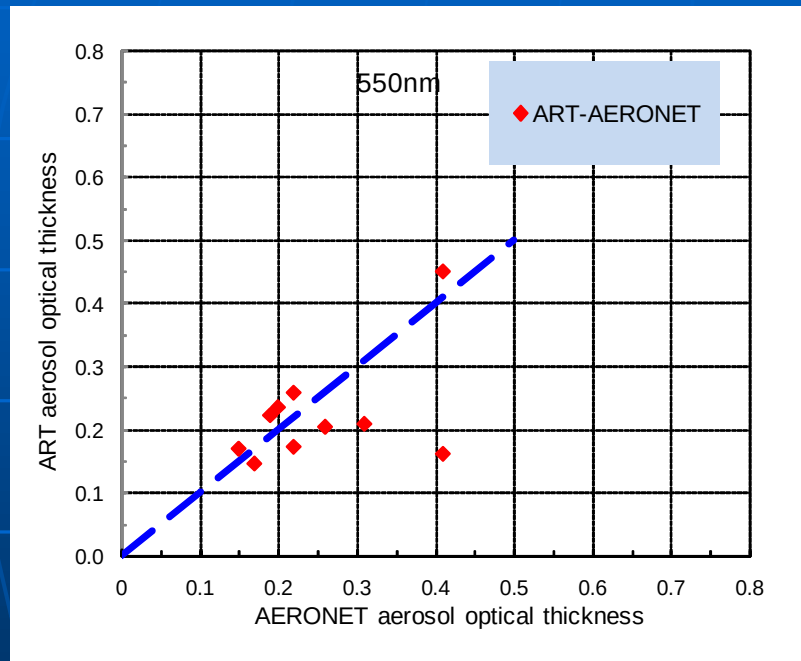
Сравнение с данными других алгоритмов

AOT for different instruments and algorithms $\lambda = 550\text{nm}$, (7-12E, 49 – 53N)

Instrument	Algorithm	Average AOT	Standard deviation	Platform
MODIS	NASA	0.14	0.04	TERRA
MISR	JPL	0.14	0.03	TERRA
MODIS	MBAER	0.15	0.06	TERRA
MERIS	ESA	0.13	0.05	ENVISAT
MERIS	BAER	0.18	0.03	ENVISAT
AATSR	AATSR-2	0.23	0.05	ENVISAT
AATSR	AATSR-1	0.26	0.1	ENVISAT
SCIAMACHY	ASP	0.17	0.2	ENVISAT
MERIS	ART	0.14	0.04	ENVISAT

Kokhanovsky et al. "Aerosol remote sensing over land: A comparison of satellite retrievals using different algorithms and instruments" *Atmos.Res.*, 85, 372–294, 2007.

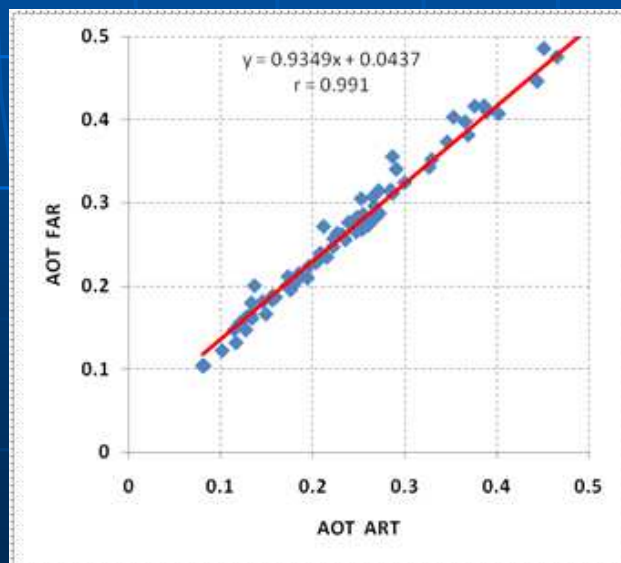
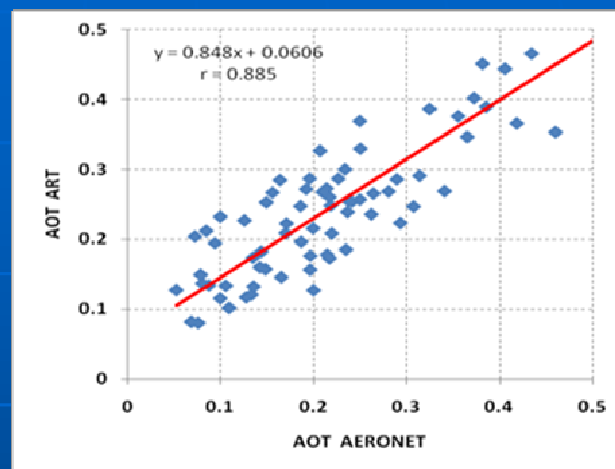
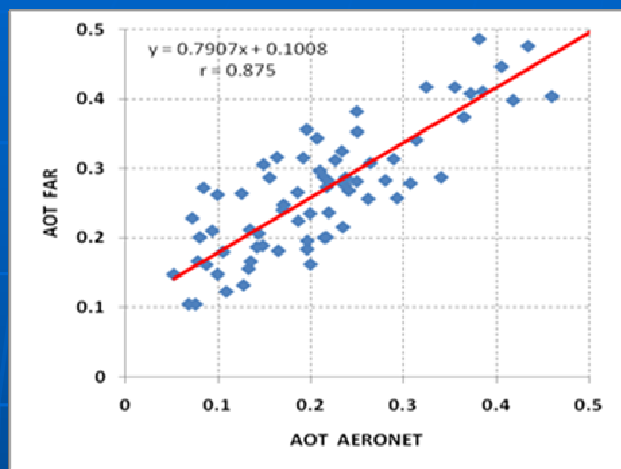
Сравнение с данными AERONET и других алгоритмов



Германия, 13 октября 2005 г.

"Aerosol remote sensing over land: A comparison of satellite retrievals using different algorithms and instruments" Atmos.Res., 85, 372–294, 2007.

Сравнение с данными AERONET



Корреляция AOT,
восстановленных алгоритмами
FAR и ART

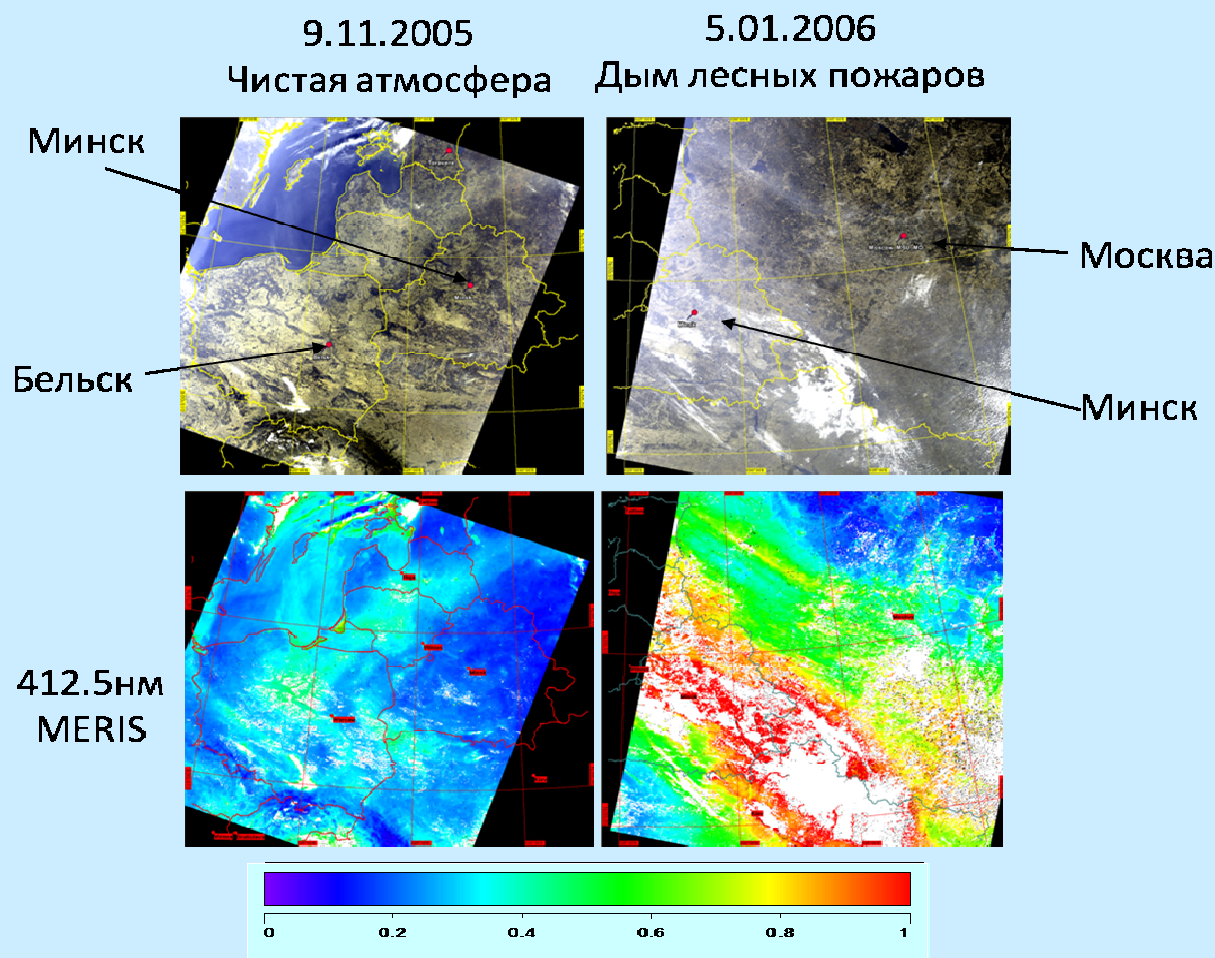
Сравнение с
данными AERONET
Бельск (Польша)
Звенигород
(Подмосковье)

Март - сентябрь
2008 и 2009 гг.
Длина волны 440 нм

Время обработки кадра с 10^6 пикселей
алгоритмом ART занимает порядка 5
часов, алгоритмом FAR – 2-3 минуты

FAR в 100 раз быстрее чем ART

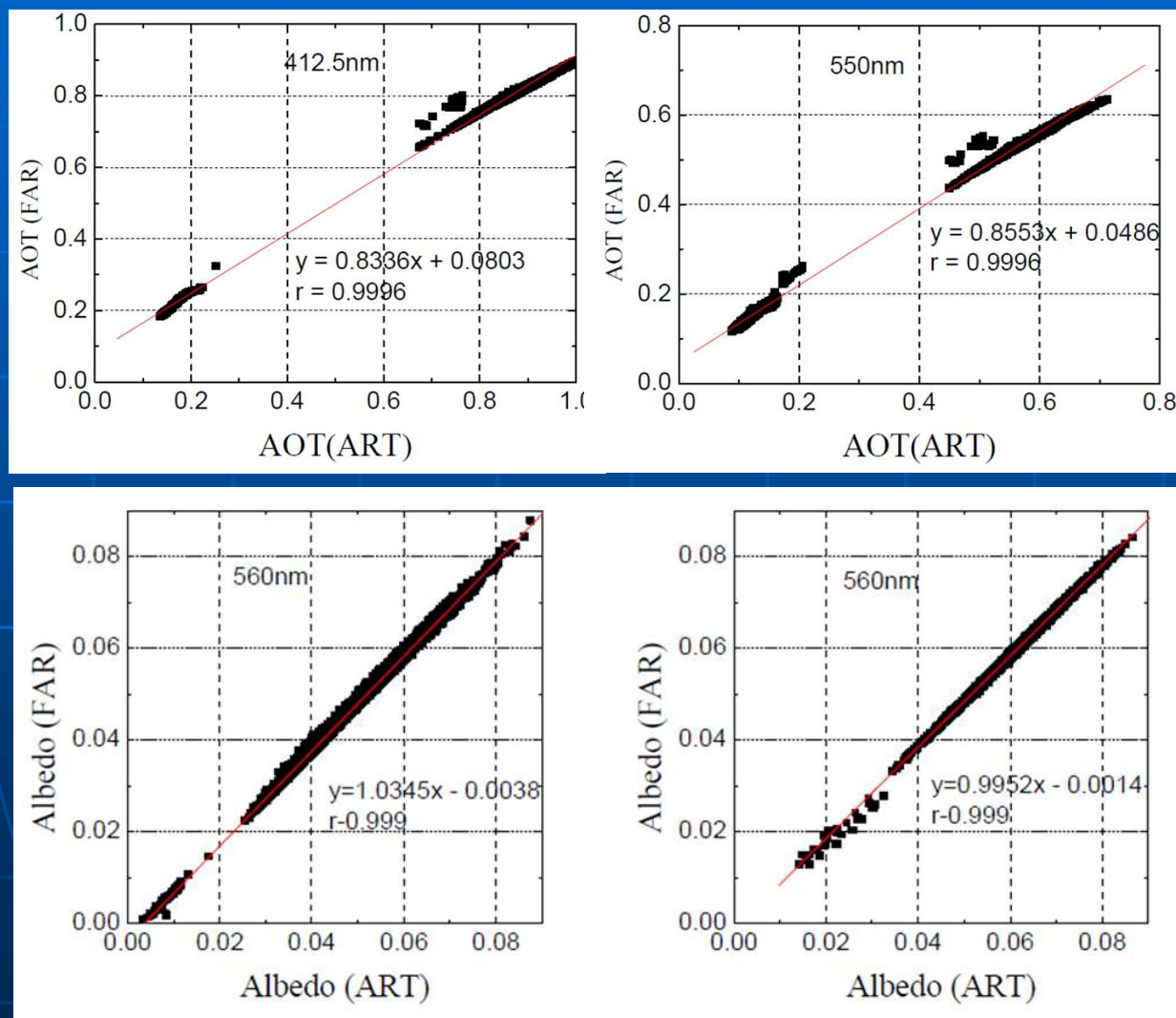
Восстановление оптической толщины аэрозольной атмосферы по данным MERIS на территории Беларуси и России



Спутниковые снимки,
сделанные с ENVISAT

Распределения аэрозольной
оптической толщины на
длине волны 412.5 нм,
восстановленные по данным
MERIS

Корреляция между аэрозольной оптической толщиной атмосферы и альбедо поверхности земли, восстановленными алгоритмами FAR и ART



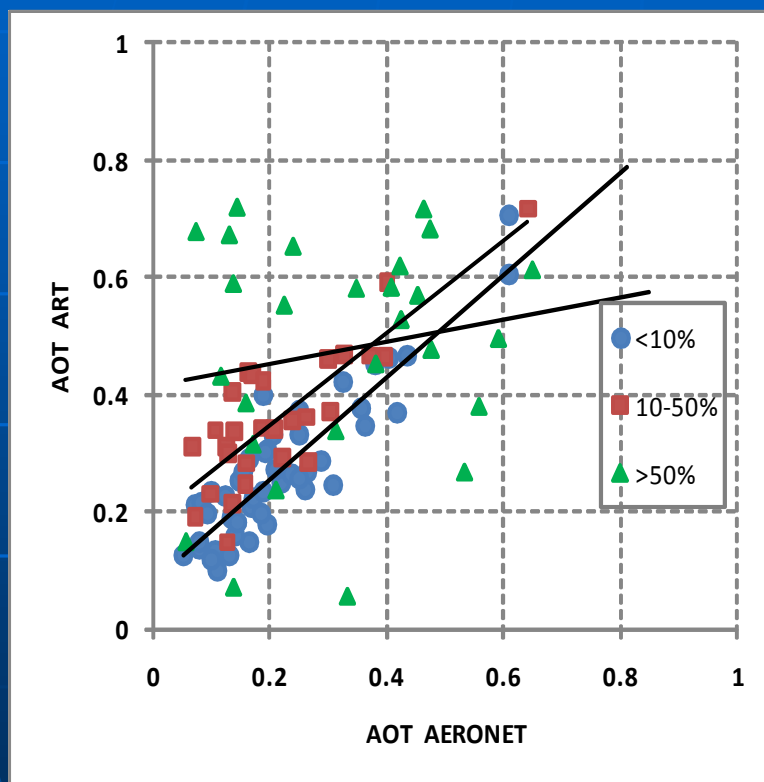
Чистая атмосфера

Дым лесных пожаров

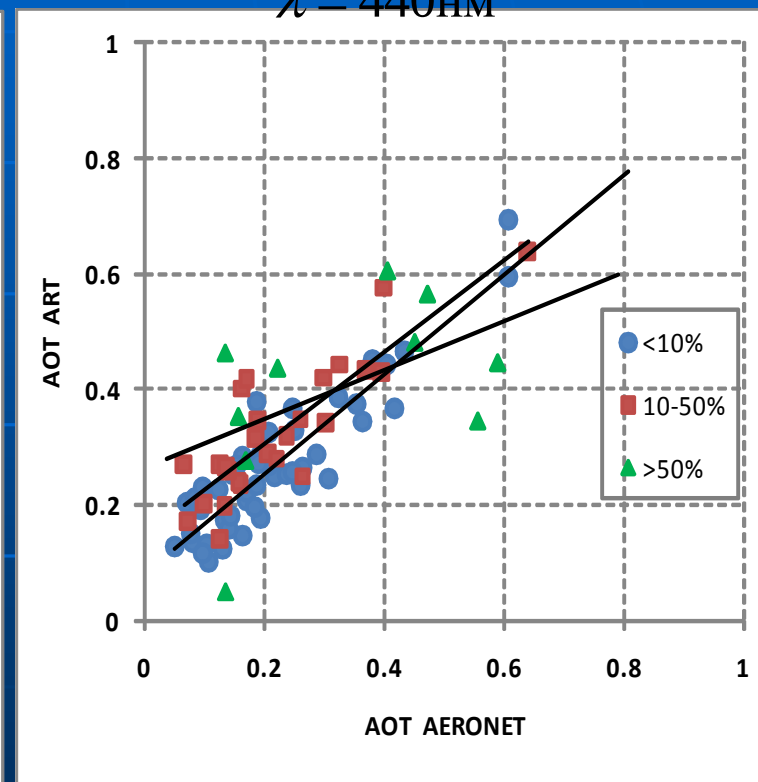
Влияние облаков в соседних пикселях на восстановление аэрозольной оптической толщины атмосферы

Станция AERONET Бельск (Польша)

$\lambda = 440\text{nm}$



Стандартная дискриминация
облаков



Дополнительная дискриминация
облаков

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Разработаны два варианта (ART и FAR) алгоритма оперативной обработки многоспектральных спутниковых данных для восстановления спектральной аэрозольной оптической толщины атмосферы и альbedo подстилающей поверхности.
- Применение алгоритма FAR особенно целесообразно в задачах, когда необходимо оперативно обрабатывать большие массивы спутниковых изображений (мониторинге трансграничного переноса загрязнений, в особенности в случаях извержения вулканов, техногенных катастроф и т.д).
- Отличительной особенностью обоих алгоритмов является проведение численных процедур расчета переноса радиации и статистической оптимизации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- FAR в 100 раз быстрее, чем ART;
- FAR включает RT расчеты и использует статистическую оптимизацию при определении AOT;
- Для ускорения FAR используем комбинацию RT RAY расчетов и аналитических MSA решений
- Метод MSA =приближение Соболева +усечение индикатрисы рассеяния.
-
- Восстановленная AOTс использованием техники FAR хорошо согласуется с данными AERONET;
- FAR является точным и эффективным инструментом для атмосферной коррекции и восстановлении спектрального альбеда Земли.

See for detail

- 1. Tynes, H., Kattawar, G.W., Zege, E.P., Katsev, I.L., Prikhach, A.S., Chaikovskaya, L.I. Appl. Opt., 40, 400-412, 2001.

/ Fast RT code RAY/

- 2. Katsev, I.L., Prikhach, A.S., Zege, E.P., Ivanov, A.P., Kokhanovsky, A.A. In Satellite aerosol remote sensing over land, 101-134, 2009

/ART retrieval technique/

- 3. I. L. Katsev, A. S. Prikhach, E. P. Zege, J. O. Grudo, and A. A. Kokhanovsky. Atmos. Meas. Tech., 3, 1–61, 2010 (under discussion)

/ FAR retrieval technique/

- Kokhanovsky, A. A., et al Atmos. Res., 85, 372–294, 2007.

Работа выполнялась в рамках
Программы Союзного государства
“Космос-НТ”

Спасибо за внимание