Сравнительный анализ результатов обработки данных самолетных радиационных наблюдений, выполненных в СССР и НАСА

Мванго Джефва Гения (1)
Ирина Н.Мельникова (1)
Чарльз Гатебе (2)

(1) ***(1) Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр., д. 98, 195196, Санкт-Петербург,*** irina.melnikova@pobox.spbu.ru

(2) NASA, Goddard Space Flight Center, Mail Code 613.2, Greenbelt, MD 20771, USA, *charles.k.gatebe@nasa.gov*

Цель исследования

1. Решение обратной задачи оптики облаков– восстановление оптических параметров облака:

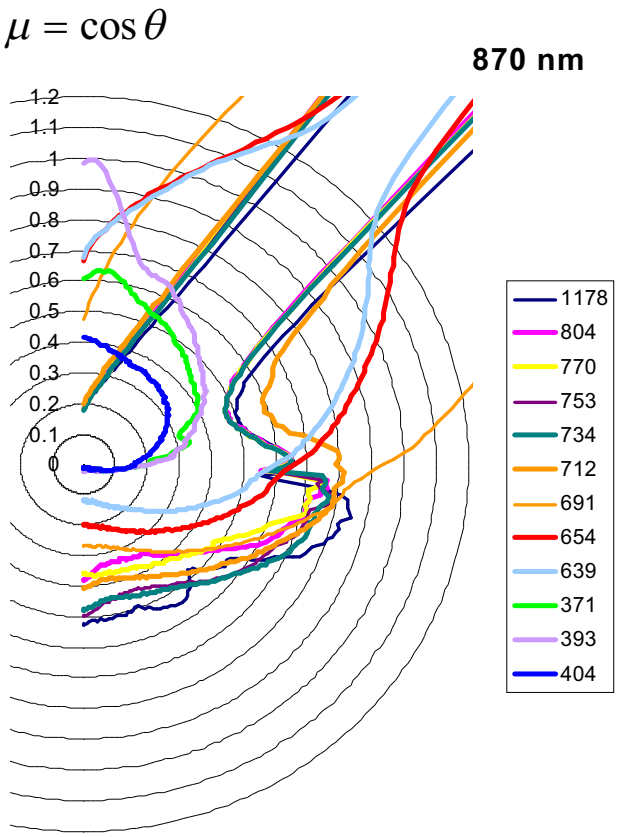
- Оптической толщины,
- Альбедо однократного рассеяния,
- Объемных коэффициентов рассеяния и поглощения

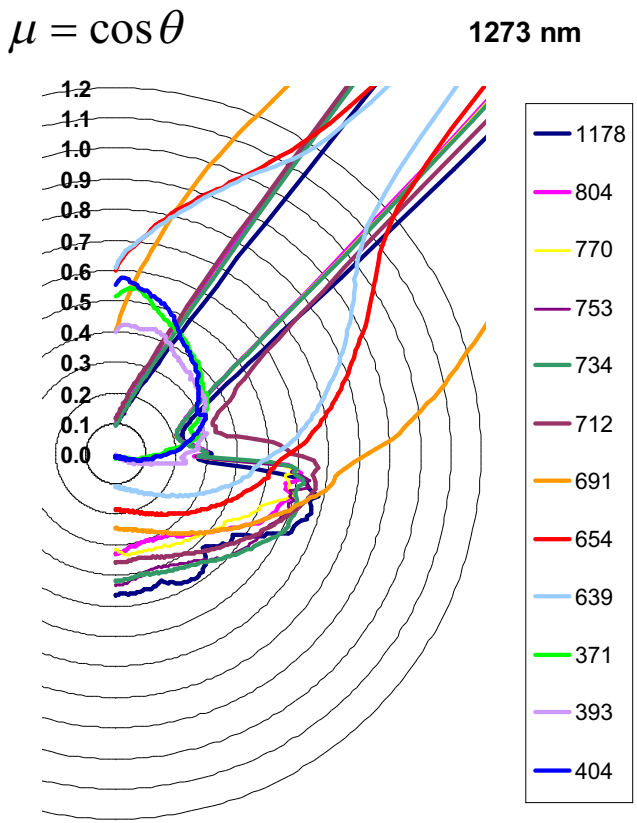
2. Сравнение результатов с величинами, полученными ранее из российских самолетных наблюдений 1974 у Северо-западного берега Африки

Условия проведения самолетного эксперимента 2000

- У Западного берега Южной Африки, широта $-21^{\circ}.73$ и долгота $13^{\circ}.70$
- Дата 13 сентября 2000 .
- Длительность полета 1 час.
- Зенитный угол Солнца менялся слабо. $\theta_0 = 37^{\circ}.60$
- Высота верхней и нижней границы облачного слоя 800 и 400 м.
- Величины интенсивности рассеянной солнечной радиации, измеренной радиометром CAR (Cloud Absorption Radiometer) в зенитных углах визирования θ от 0 до 180° с шагом 1°
- Сигнал регистрировался в 8 спектральных каналах коротковолнового диапазона: 340, 381, 472, 682, 870, 1035, 1219, 1273 нм.

Интенсивность рассеянной солнечной радиации в каналах 870 и 1273 нм





$$\mu_0 = \cos\theta_0 \quad \mu = \cos\theta$$

Поле рассеянной солнечной радиации : над облаком (1178-804 м), внутри (770-404 м), и под облаком (393-371 м).

Применяется метод обратных асимптотических формул

Основные предположения :

большая оптическая толщина облака: $\tau_0 >> 1$

слабое истинное поглощение по сравнению с рассеянием : $1-\omega_0 << 1$

Обозначения:

$$I(0,\mu_0,\mu) = F_0/\pi\,\mu_0\rho(0,\mu_0,\mu)$$ - отраженная интенсивность

$$I(\tau_0,\mu_0,\mu) = F_0/\pi\,\mu_0\sigma(\tau_0,\mu_0,\mu)$$ - пропущенная интенсивность

искомые величины:

$$s^2 = \frac{1-\omega_0}{3(1-g)},$$ - параметр подобия

$$\tau' = 3(1-g)\tau_0,$$ - приведенная оптическая толщина

из которых получаются оптическая толщина, альбедо однократного рассеяния и объемные коэффициенты поглощения и рассеяния

$$\tau_0 = \tau'/3(1-g), \quad \omega_0 = 1-3s^2(1-g),$$

$$\kappa = \tau' s^2/\Delta z, \quad \alpha = \tau_0/\Delta z$$

1. Уравнения для обработки данных измерений над облаком

$$s^2 = \frac{[\rho_0(\varphi,\mu_1,\mu_0)-\rho_1]K_0(\mu_2)-[\rho_0(\varphi,\mu_{2,}\mu_0)-\rho_2]K_0(\mu_1)}{[\rho_0(\varphi,\mu_{2,}\mu_0)-\rho_2]K_0(\mu_1)\left(\frac{K_2(\mu_1)}{K_0(\mu_1)}-\frac{K_2(\mu_2)}{K_0(\mu_2)}\right)-\frac{1.91a_2(\mu_0)K_0(\mu_1)K_0(\mu_2)}{2q'(1+g)}[\mu_1-\mu_2]},$$

$$\tau' = (2s)^{-1}\ln\left\{\frac{m\bar{l}K(\mu_1)K(\mu_0)}{\rho_\infty(\varphi,\mu_1,\mu_0)-\rho_1}+l\bar{l}\right\},$$

где ρ_1 и ρ_2отраженная радиация в двух направлениях визирования μ_1 и μ_2

$K_0(\mu_1), K_0(\mu_1)$ функции выхода, определяют, определенные для этих углов визирования

2. Уравнения для обработки данных измерений под облаком

$$s^2 = \left[\frac{\sigma_1 \overline{K}_0(\mu_2)}{\sigma_2 \overline{K}_0(\mu_1)} - 1\right] \frac{1}{\frac{\overline{K}_2(\mu_1)}{\overline{K}_0(\mu_1)} - \frac{\overline{K}_2(\mu_2)}{\overline{K}_0(\mu_2)}},$$

$$\tau' = s^{-1} \ln\left[\frac{\sqrt{4\sigma(\tau,\mu_{1,2},\mu_0)^2 l\bar{l} + m^2 \overline{K}(\mu_{1,2})^2 K(\mu_0)^2} + m\overline{K}(\mu_{1,2}) K(\mu_0)}{2\sigma(\tau,\mu_{1,2},\mu_0) l\bar{l}}\right]$$

Параметр затенения вводится для учета неоднородности верхней границы облака и определяется из вариаций оптической толщины в предположении чистого рассеяния :

$$r = \frac{1}{N\bar{\tau}} \sum_{i=1}^{N} \left|\tau_i - \bar{\tau}\right|$$

$$\rho_0(\mu,\mu_0) = \rho_0(\mu,\mu_0)(1-r) + ra(\mu)$$

$$K(\mu_0) = K(\mu_0)(1-r) + rn$$

$$a(\mu_0) = a(\mu_0)(1-r) + ra^{\infty}$$

Влияние отражения от поверхности

$$A = I(48^{\circ}) / I(132^{\circ})$$

$$\bar{l} = l - \frac{Amn^2}{1 - Aa^{\infty}}$$

$$\overline{K}(\mu) = K(\mu) + \frac{Aa(\mu)n}{1 - A}$$

3. Формулы для совместной обработки данных измерений над и под облаком .

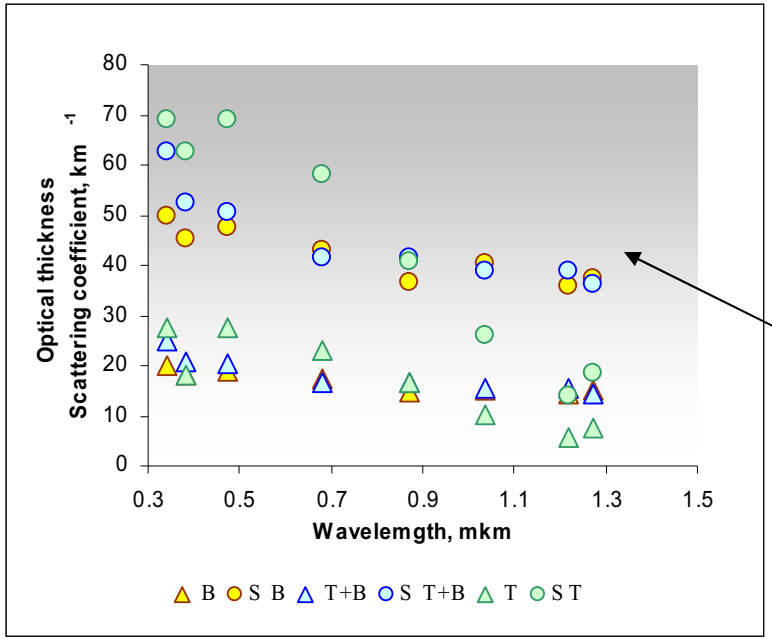
$$s^2 = \frac{\overline{K}_0(\mu)^2(\rho_0-\rho)^2 - K_0(\mu)^2\sigma^2}{16K_0(\mu)^2\left[\overline{K}_0(\mu)^2 K_0(\mu_0)^2 - \left(\frac{A\sigma}{1-A}\right)^2\right] - \frac{24q'AK_0(\mu)}{1-A}\left[\overline{K}_0(\mu)(\rho_0-\rho)^2 - \frac{AK_0(\mu)\sigma^2}{1-A}\right] - J},$$

$$\tau_0{}' = \frac{1}{2s}\ln\left[\bar{l}\left(l + \frac{mK(\mu)K(\mu_0)}{(\rho_0-\rho)}\right)\right].$$

$$J = \frac{2A\overline{K}_0(\mu)}{1-A}\left[a_2(\mu) + n_2 - \frac{K_2(\mu)}{K_0(\mu)}\right](\rho_0-\rho)^2 + \frac{a_2(\mu)a_2(\mu_0)}{6q'}\overline{K}_0(\mu)(\rho_0-\rho)$$

Результаты совместной обработки данных над и под облаком

λ, нм	340	381	472	682	870	1035	1219	1273
A_s	0.0774	0.0518	0.0577	0.0481	0.0461	0.0472	0.0452	0.0441
Conser τ_0	22.4	18.5	20.8	22.9	19.9	18.4	16.9	16.3
τ_0	25.1	20.9	20.2	16.5	16.6	15.5	15.5	14.5
MSD τ_0	0.12	0.08	0.05	0.05	0.04	0.04	0.08	0.09
α, км$^{-1}$	62.7	52.4	50.6	41.3	41.6	38.7	38.8	36.2
r	0.0155	0.0149	0.0150	0.0153	0.0152	0.0155	0.0155	0.0169
ω_0	0.996765	0.997397	0.998275	0.996487	0.997861	0.996834	0.996742	0.995468
MSD ω_0	0.0001	0.0001	0.0002	0.0007	0.0003	0.0005	0.0005	0.0005
$1-\omega_0$	0.003235	0.002603	0.001725	0.003613	0.002139	0.003166	0.003258	0.004532
κ, км$^{-1}$	0.1506	0.1094	0.1198	0.1687	0.0937	0.1195	0.1248	0.1638



Обозначения:

B – из измерений под облаком (желтые точки)

T - из измерений над облаком (зеленые)

T+B – из совместной обработки (голубые)

S – коэффициент рассеяния

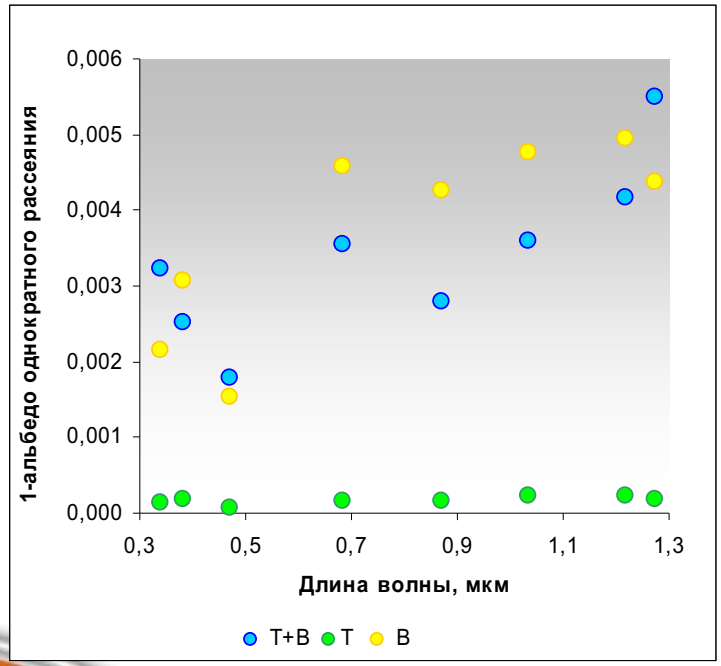
Оптическая толщина (треугольники)

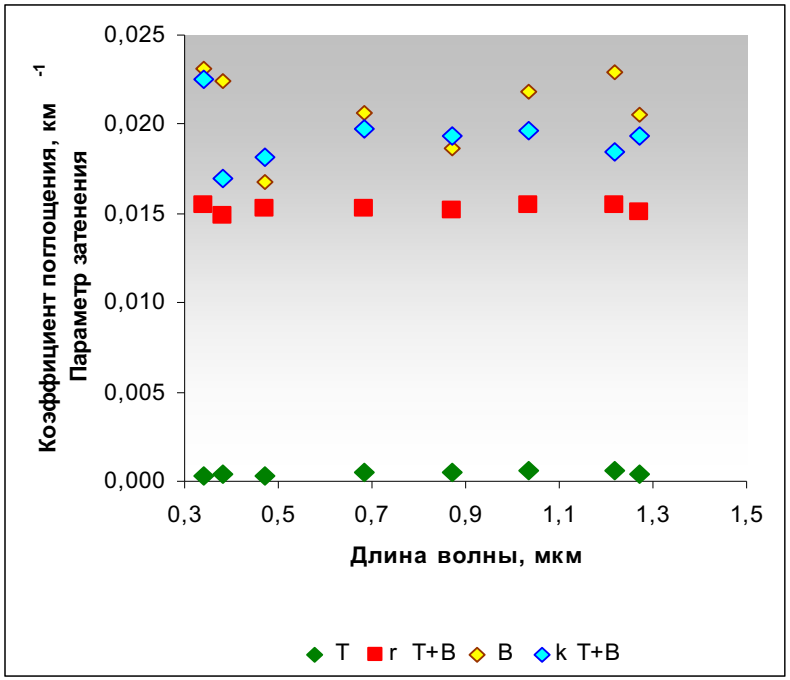
Коэффициент рассеяния (кружки)

(1- Альбедо однократного рассеяния)

Параметр затенения (красные квадраты)

Коэффициент поглощения





Сравнение :

Оптические параметры облака, восстановленные из результатов

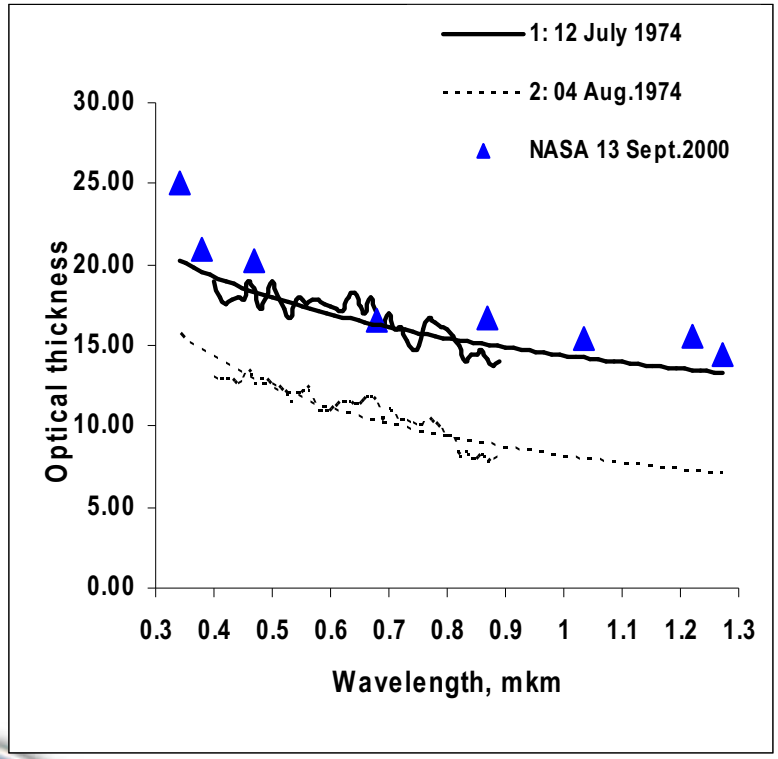
самолетных измерений потоков солнечной радиации выполненных вблизи Северо-западного берега Африки в 1974 г. после выноса песка из Сахары,

верхняя граница 12.07.74 – 3300м, 04.08.74 – 5100м; нижняя граница 300 и 500 м

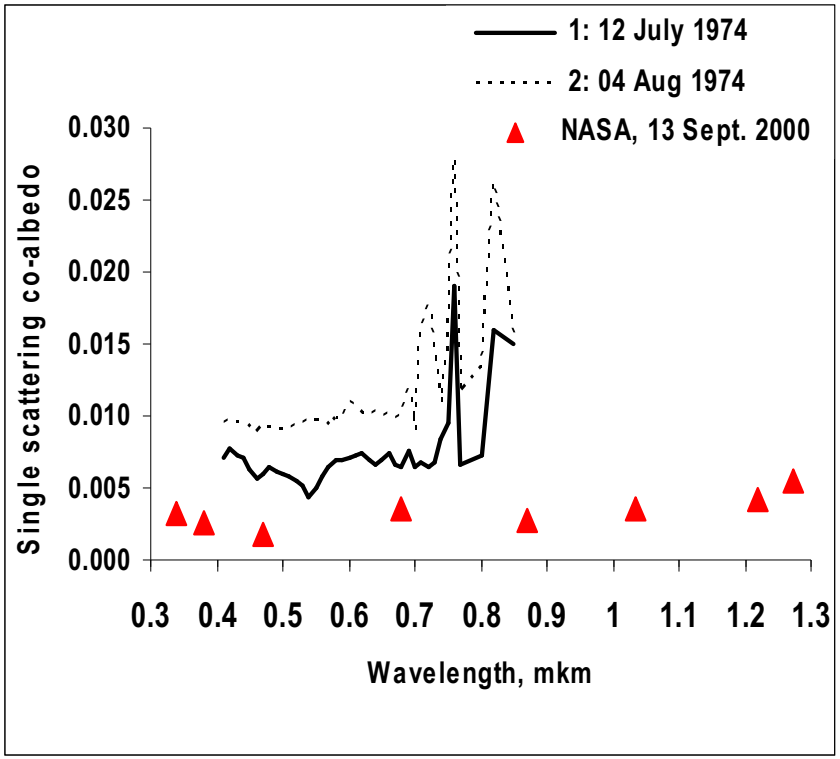
и

самолетных измерений интенсивности рассеянной солнечной радиации у Юго-западного берега Африки в 2000 г.

Оптическая толщина



1-Альбедо однократного рассеяния



Альбедо подстилающей поверхности по результатам самолетных радиационных измерений

1974 г :

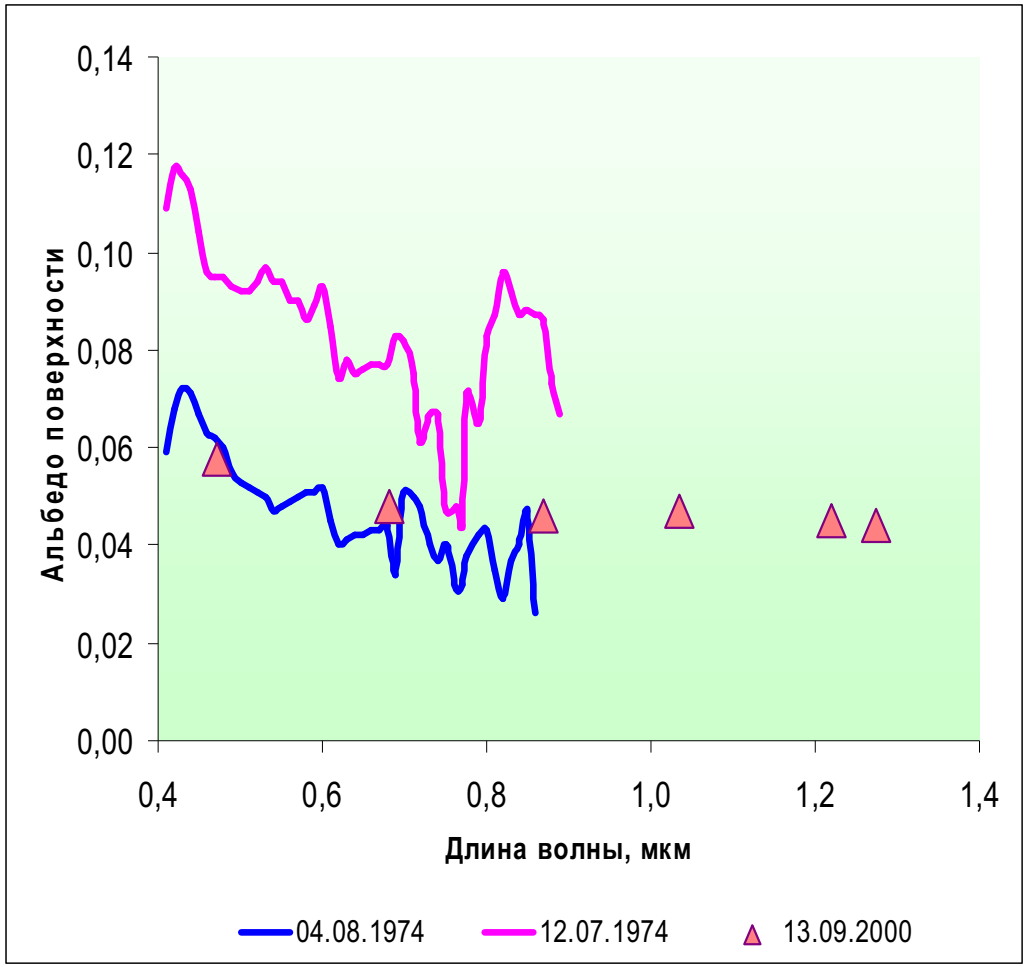
$$A = F^{\uparrow}(z_{\text{нг}}) / F^{\downarrow}(z_{\text{нг}})$$

$$z_{\text{нг}} = 300\text{м} \quad \text{и} \quad 500\text{м}$$

2000 г :

$$A = I(48^{\circ}) / I(132^{\circ})$$

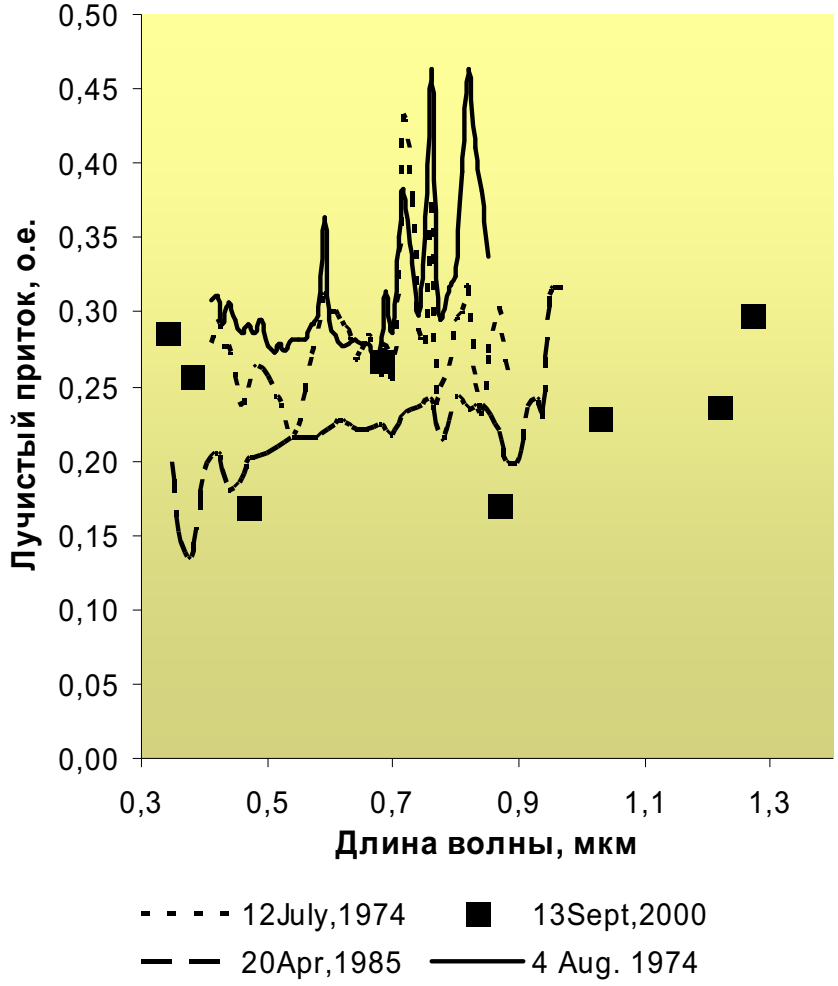
$$z_{\text{нг}} = 400\text{м}$$



Лучистый приток тепла в слое облаков

$$R = \left\{ \left[F^{\downarrow}(\text{вг}) - F^{\uparrow}(\text{вг}) \right] - \left[F^{\downarrow}(\text{нг}) - F^{\uparrow}(\text{нг}) \right] \right\} / F^{\downarrow}(\text{вг})$$

Для результатов 13.09.2000 расчет был выполнен по методу Эддингтона на основе полученных оптических параметров



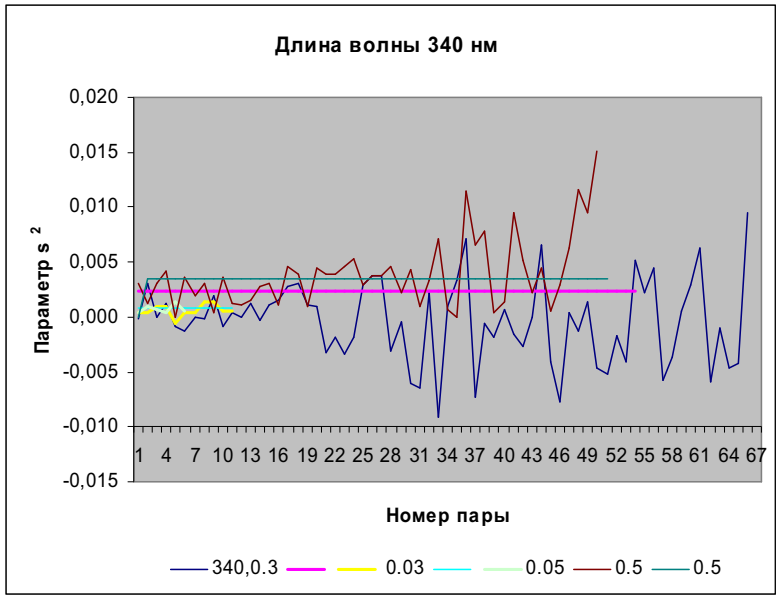
Заключение:

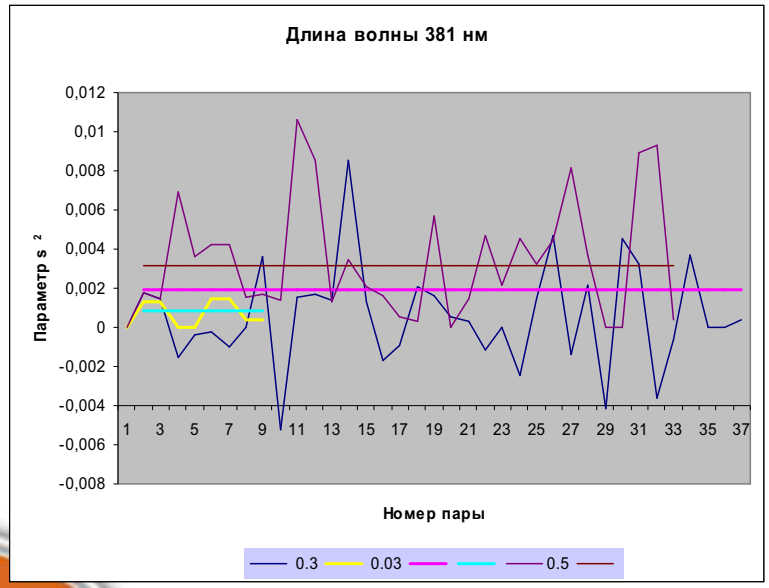
1. Решение обратной задачи выражено 2-мя непрерывными функциями – значит оно существует и единственно
2. Выявлена спектральная зависимость оптической толщины и коэффициента рассеяния, что подтверждает ранее полученные результаты.
3. Сравнение результатов обработки экспериментов NASA 2000 г. и ранних советских экспериментов 1974 г. демонстрируют хорошее согласие как по величине оптических параметров и радиационных характеристик, так и по их спектральным зависимостям.

Спасибо !

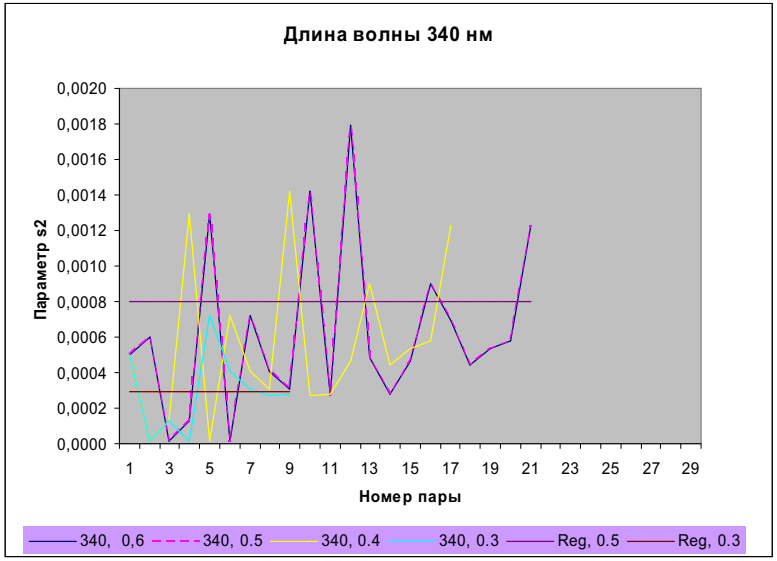
Регуляризация результатов 1. Параметр подобия

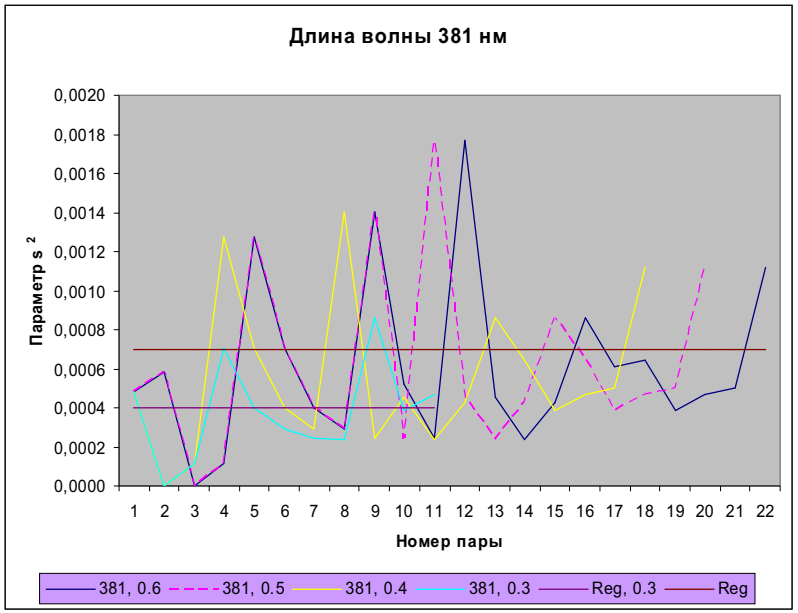
под облаком





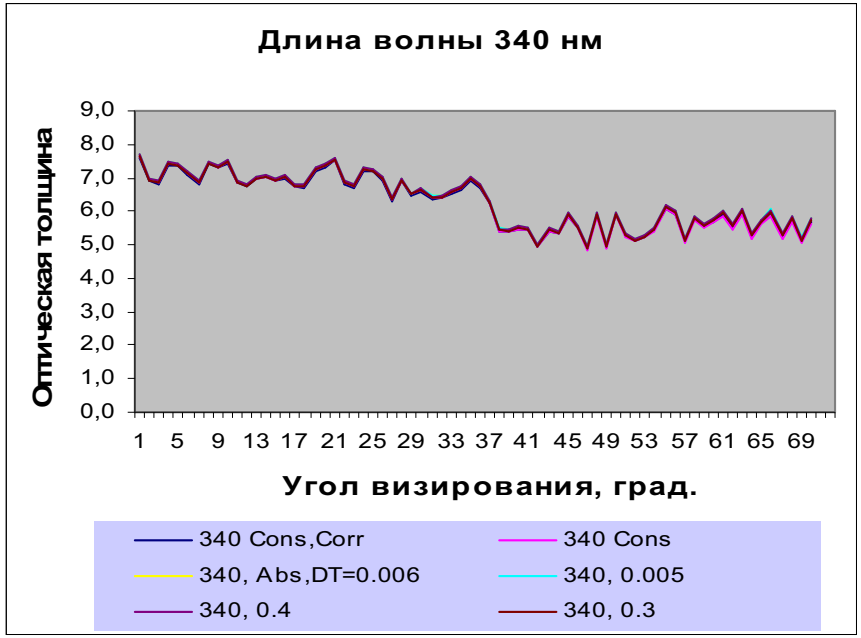
над облаком



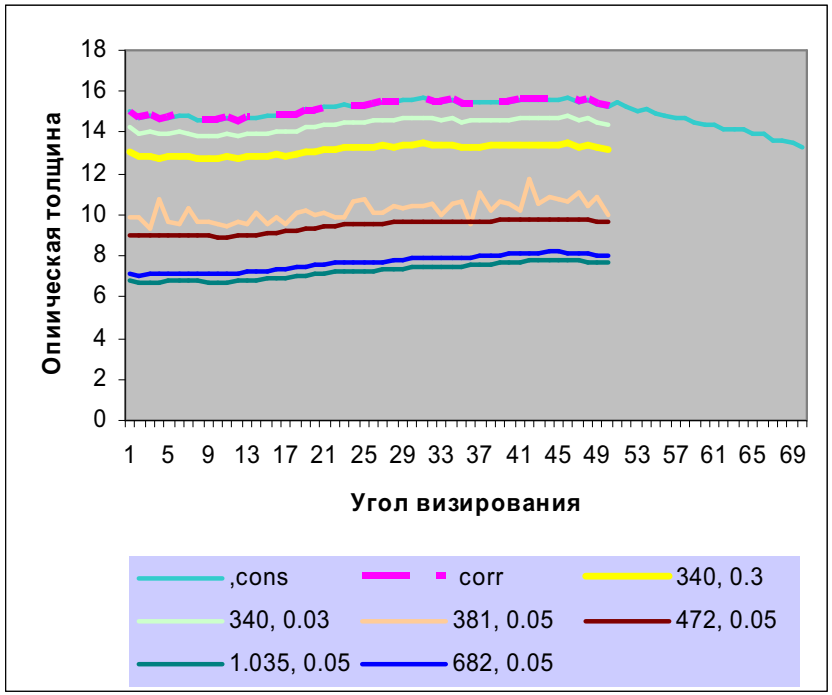


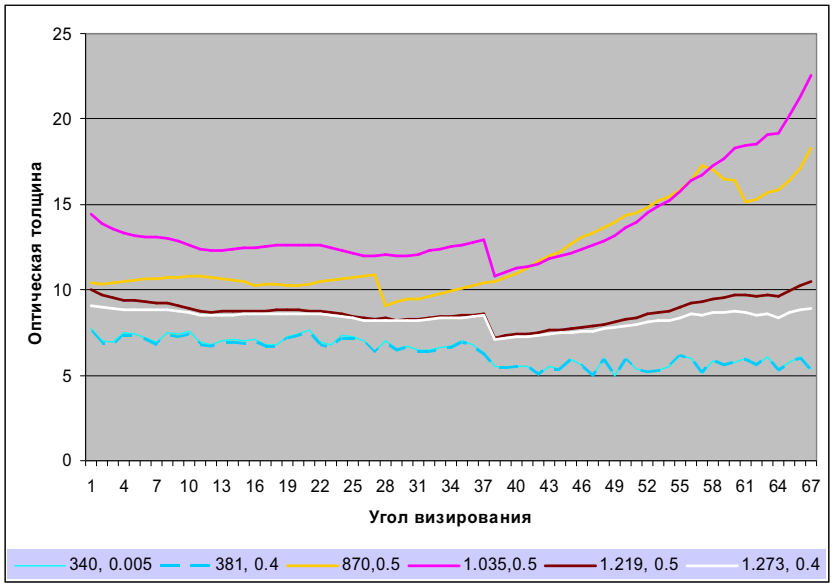
Регуляризация результатов 2. Оптическая толщина

над облаком



под облаком





еще раз СПАСИБО!