

# Результаты определения оптических характеристик атмосферы из многоугловых спутниковых измерений солнечной радиации

И.Н.Мельникова

НИЦЭБ РАН, Санкт-Петербург,

А.В. Васильев,

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

Н.В.Коновалов

ИПМ РАН, Москва

Используются наблюдения прибором POLDER, проведенные с борта спутника ADEOS. Для обработки использованы данные POLDER, LEVEL 1

Прибор POLDER проводил измерения интенсивности отраженного Землей солнечного излучения в 9 спектральных каналах в спектральном диапазоне 0,443-0,910 мкм. Для каждого пикселя изображения имеется до 14-ти различных направлений визирования. Измерения проводились регулярно в течение 8 месяцев 1996 г. и спутниковые изображения покрывают весь земной шар за исключением неосвещенных зон.

Задача - получить величины оптических параметров атмосферы (оптическую толщину, альбедо однократного рассеяния и параметр асимметрии индикатрисы рассеяния) для каждого пикселя (безоблачного и облачного), а также альбедо поверхности (в случае безоблачных пикселей) в каждом спектральном канале.

Дальнейшая интерпретация полученных результатов позволяет выделить информацию об общем содержании атмосферных аэрозолей и поглощающих газов в атмосфере для совершенствования моделей безоблачной атмосферы

# Обработка безоблачных пикселей

- Численный метод нейронных сетей из персептронов (нелинейной регрессии) применен для восстановления параметров атмосферы и поверхности (атмосферные параметры определяются как средние для всего атмосферного столба) :

альбедо поверхности,

суммарной оптической толщины (молекулярной плюс аэрозольной),

альбедо однократного рассеяния

параметра индикатрисы рассеяния.

Входные параметры: многоугловые значения отраженной интенсивности  $\rho_1$  и  $\rho_2$  , и зенитный угол солнца  $\arccos \mu_0$  .

- Для обучения нейронной сети производится расчет отраженной радиации с помощью кода MODTRAN-3 с учетом многократности рассеяния света. Вертикальные профили температуры и содержания поглощающих газов служат априорной информацией.
- Все восстанавливаемые параметры варьируются случайным образом на основе статистической модели, описывающей возможные границы их изменений.

## Обработка безоблачных пикселей

- Были решены задачи:

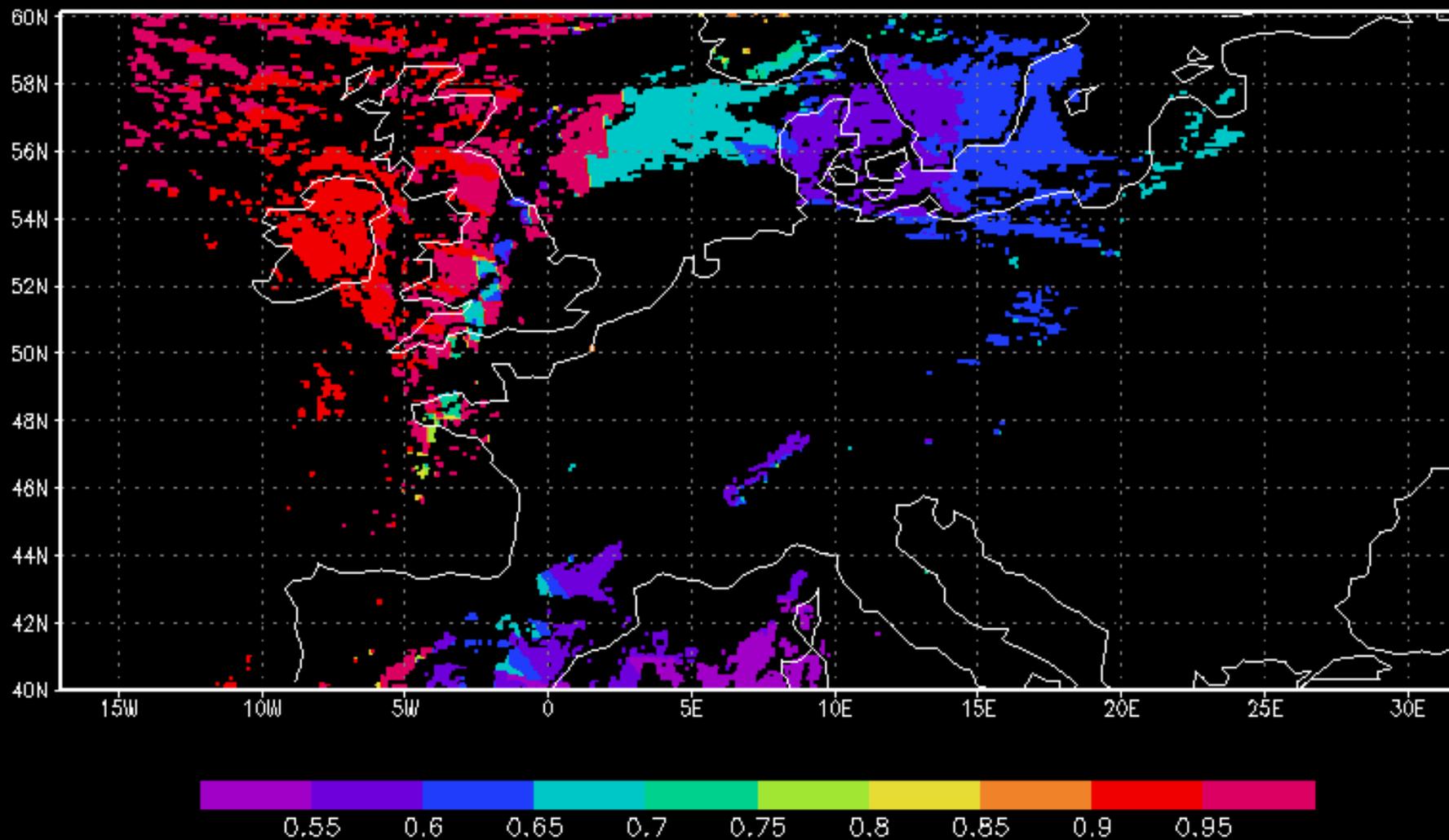
оценки доверительных интервалов изменений выходных параметров вследствие случайного характера потока вводимой информации ( из-за ошибок измерений, ориентации измерительного прибора и т.д.).

анализа структуры нейронной сети для поиска оптимального взаимодействия между персептронами.

Выработанная методика позволяет оперативно определять оптические характеристики для безоблачной атмосферы

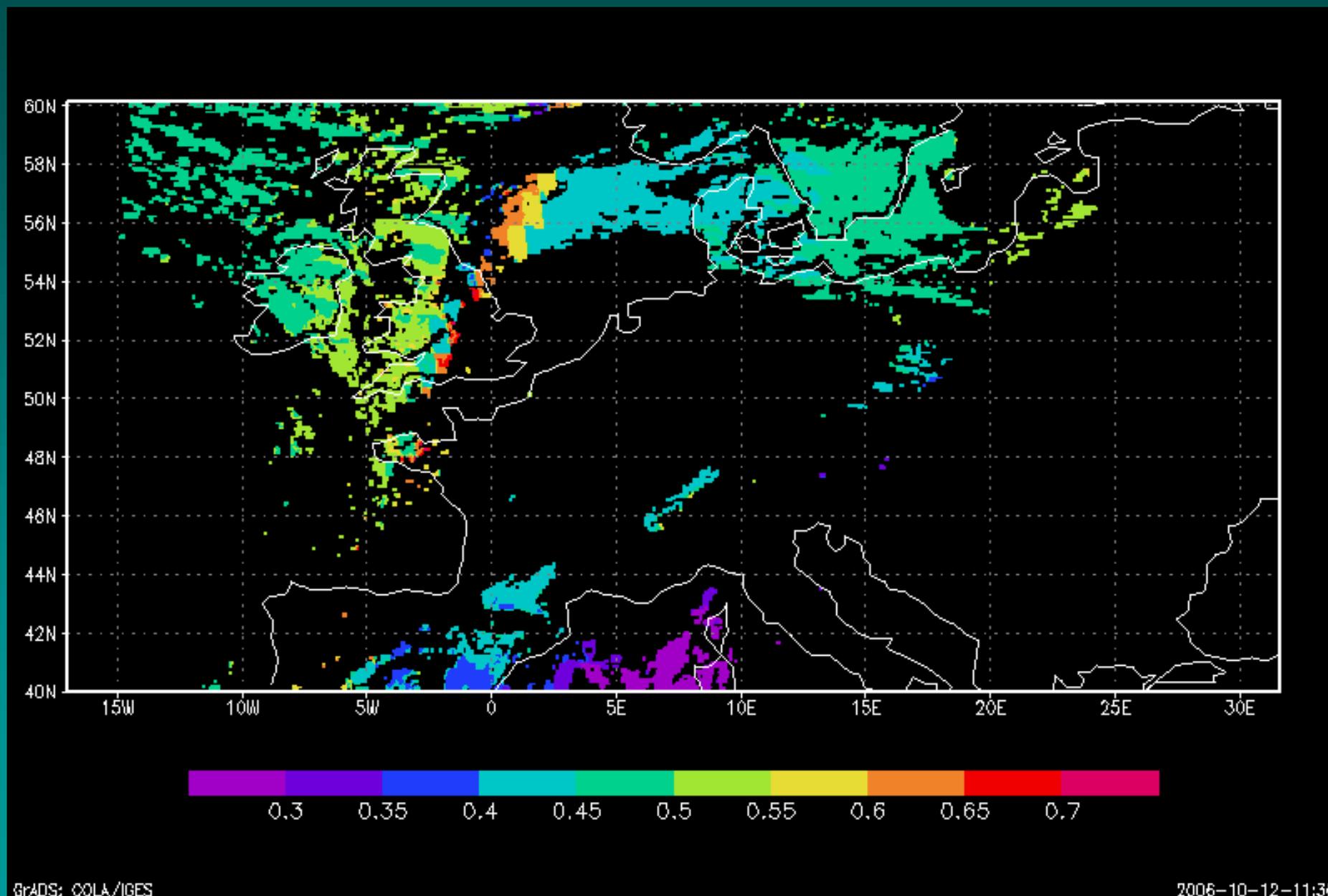
# Обработка безоблачных пикселей

Альbedo однократного рассеяния для 443 нм



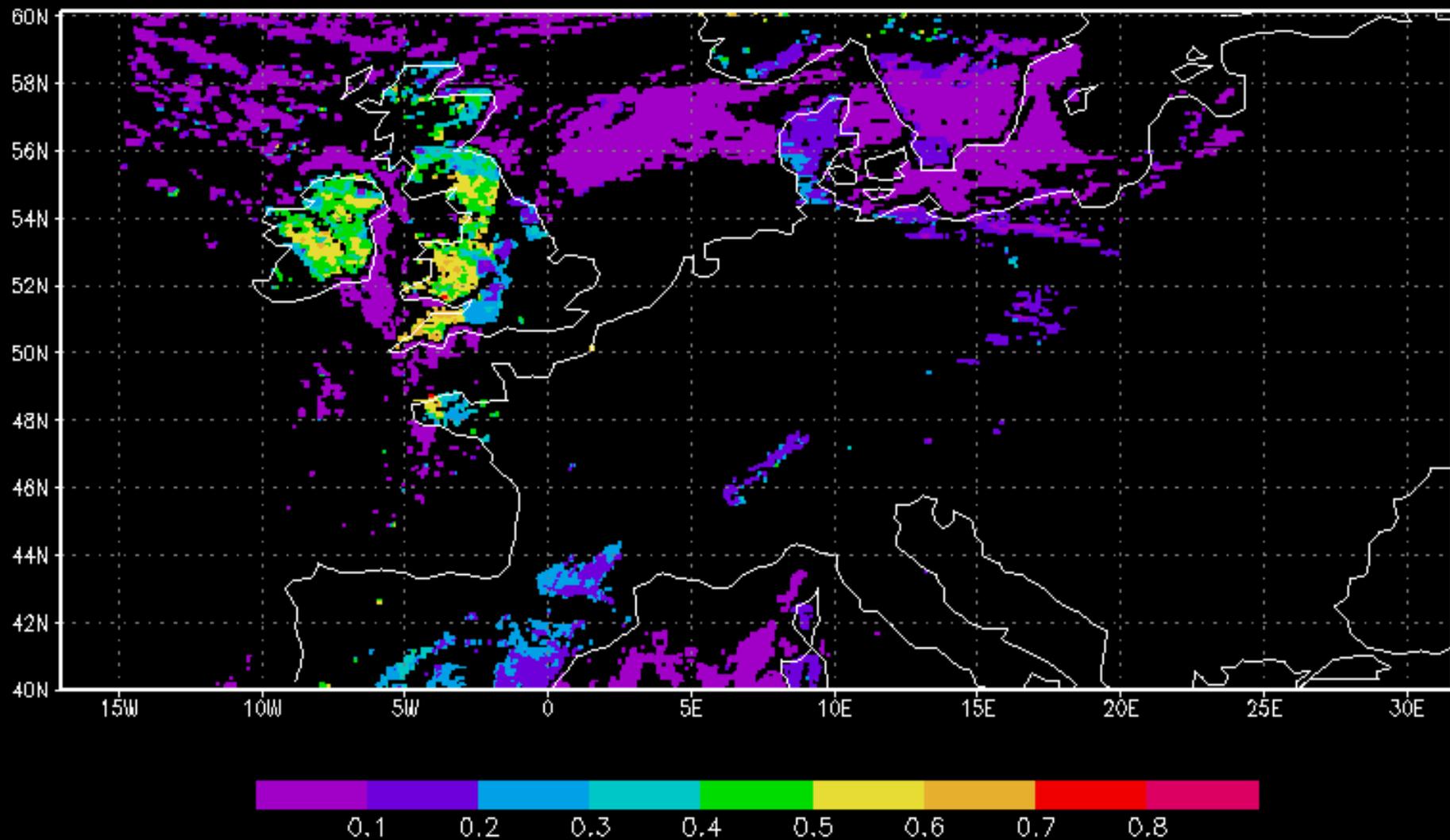
# Обработка безоблачных пикселей

## Оптическая толщина для 443 нм

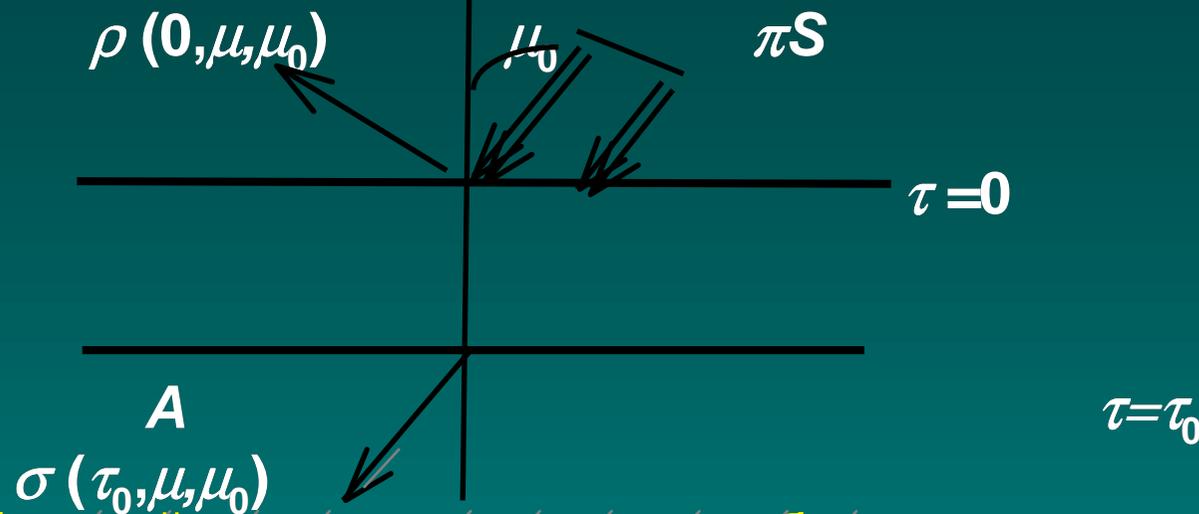


# Обработка безоблачных пикселей

## Альbedo подстилающей поверхности для 864 нм



# Модель облачной атмосферы



- Решение обратной задачи основано на обращении асимптотических формул теории переноса для оптически толстого, бесконечного по горизонтали рассеивающего и поглощающего слоя.
- Обозначим  $\rho_1$  и  $\rho_2$  отраженную интенсивность в единицах падающего потока измеренную под надирными углами визирования  $\arccos \mu_1$  и  $\arccos \mu_2$ . Косинус зенитного угла солнца  $\mu_0$
- Формулы для восстановления оптических параметров облачного слоя:  $s^2 = (1 - \omega_0) / 3 / (1 - g)$  – определяет истинное поглощение радиации в слое и оптическую толщину  $\tau_0$  – определяет рассеяние радиации содержат только измеренные значения интенсивности в двух направлениях и функции, описывающие геометрию задачи :

## Априорные предположения:

Большая оптическая толщина ( $\tau > 3$ )

Слабое истинное поглощение по сравнению с рассеянием ( $\omega_0 > 0.98$ )

$$s^2 = \frac{[\rho_0(\mu_1, \mu_0) - \rho_1]K_0(\mu_2) - [\rho_0(\mu_2, \mu_0) - \rho_2]K_0(\mu_1)}{[\rho(\mu_2, \mu_0) - \rho_2]K_0(\mu_1)(K_2(\mu_1) - K_2(\mu_2)) - \frac{a_2(\mu)}{12q'} [K_0(\mu_1)a_2(\mu_2) - K_0(\mu_2)a_2(\mu_1)]} \quad (1)$$

$$\tau' = \frac{1}{6s(1-g)} \ln \left\{ \frac{m\bar{l}K(\mu_i)K(\mu_0)}{\rho_\infty(\varphi, \mu_i, \mu_0) - \rho_1} + l\bar{l} \right\} \quad (2)$$

## Преимущества метода:

Аналитический метод эффективен и позволяет оперативно обрабатывать большие объемы данных наблюдений.

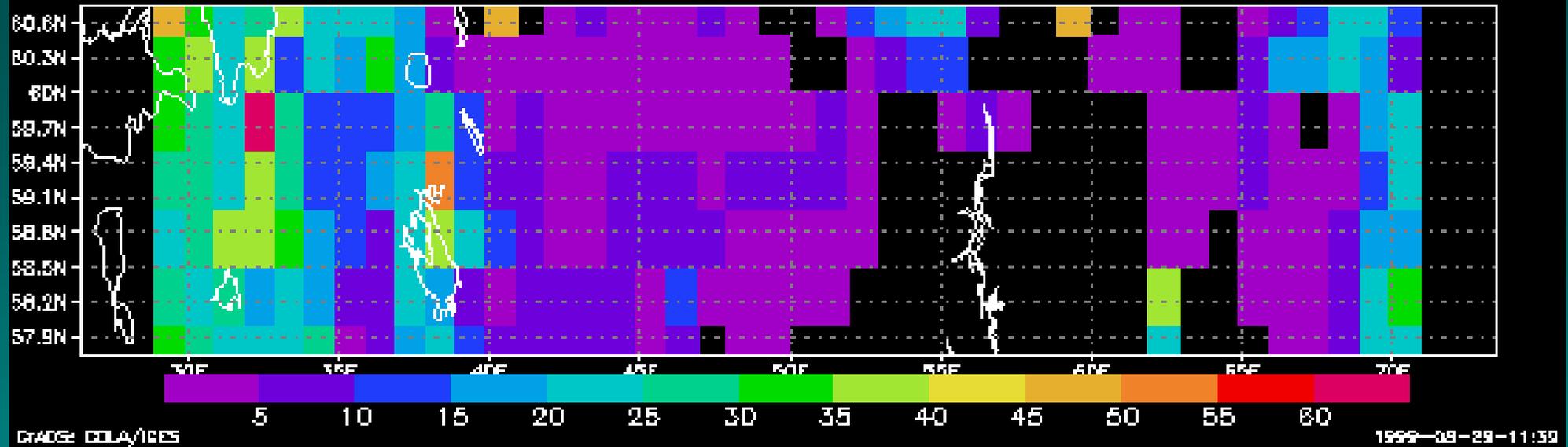
Погрешности легко оценить аналитически.

Восстановление двух параметров облачности для каждой длины волны одновременно и независимо

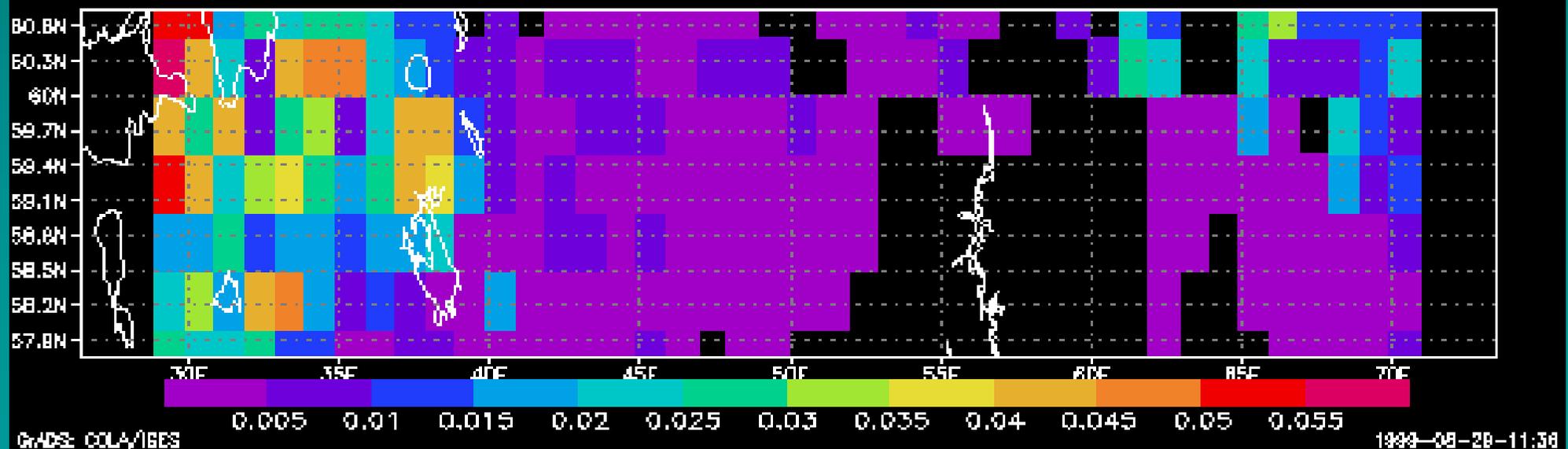
Не требуется ограничений на восстанавливаемые параметры, например, консервативное рассеяния, бесконечная оптическая толщина, независимость параметров от длины волны и др

# Обработка облачных пикселей

## Optical Thickness 443nm



## Single Scattering Co-albedo 443nm



## Задача восстановления индикатрисы рассеяния для облачных пикселей

Требования к измерениям :

1. Достаточно большое количество надирных углов визирования
2. Равномерное покрытие экваториальной части единичной сферы значениями надирных углов визирования.

Поскольку требования могут не выполняться в процессе измерений решаем задачу экстраполяции данных на требуемые точки поверхности единичной сферы.

Задача разделяется на три:

1. Выбор базовых точек единичной сферы
2. Интерполяция и экстраполяция экспериментальных значений на выбранные точки поверхности единичной сферы.
3. Определение индикатрисы рассеяния по формуле :

$$x(\cos \varphi) = 4 \frac{[b_2(\mu_0 + \mu_1)I_1 - b_1(\mu_0 + \mu_2)I_2]}{\omega_0 \mu_0 F_0 (b_2 - b_1)} \quad (3)$$

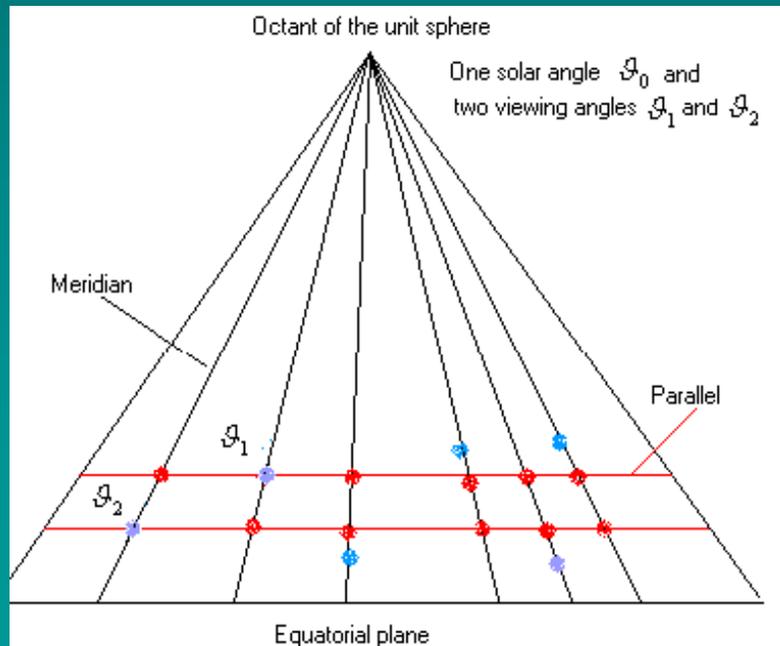
# Задача восстановления индикатрисы рассеяния для облачных пикселей

**Задача 1:** выбрать солнечный угол и углы визирования возможно близко к  $90^\circ$ . Достаточно иметь 2 угла визирования  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$  и один угол солнца  $\vartheta_0$  для применения алгоритма восстановления индикатрисы рассеяния

**Задача 2:** Для фиксированного угла солнца  $\vartheta_0$  проводятся две широтные плоскости через точки, соответствующие углам визирования  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$ . На поверхности единичной сферы получаются две параллели. Меридиональные линии проведены через синие кружки, соответствующие

эксперименту. Красные точки указывают места пересечения с параллелями. Важно, чтобы эти параллели были по возможности вблизи экватора. После интерполяции получим два значения  $I(\vartheta_0, \vartheta_1, \varphi_i)$  и  $I(\vartheta_0, \vartheta_2, \varphi)$ , которые используются для определения индикатрисы рассеяния

Рис. 1. Октант единичной сферы



## **ВЫВОДЫ**

- **Разработанный комплексный метод для восстановления оптических параметров атмосферы оказался результативным**
- **Метод позволяет оперативно обрабатывать данные многоугловых спутниковых измерений.**
- **Не требуется излишних ограничений на восстанавливаемые параметры**

**Исследование выполняется при поддержке РФФИ (проект 05-05-64653-а).**