

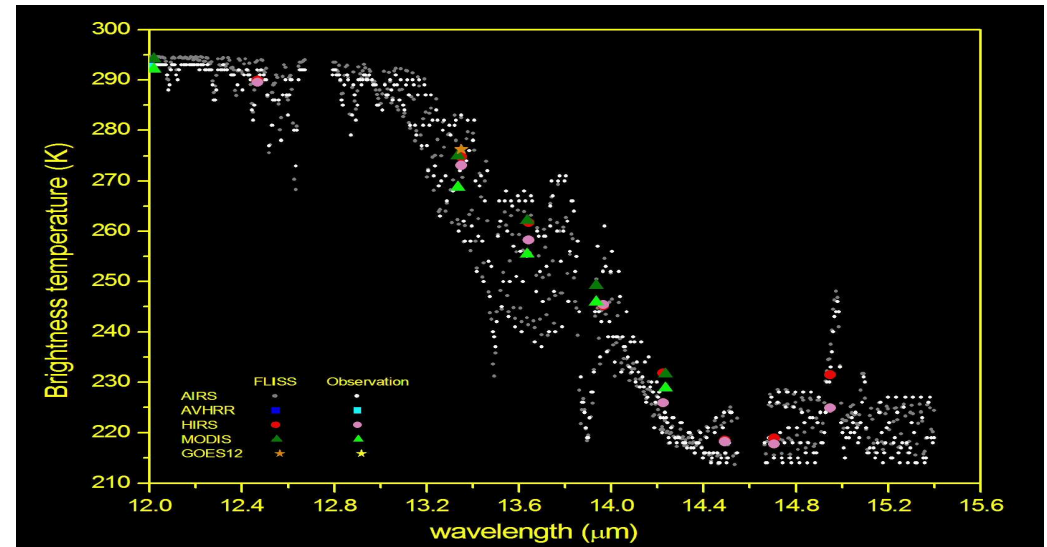
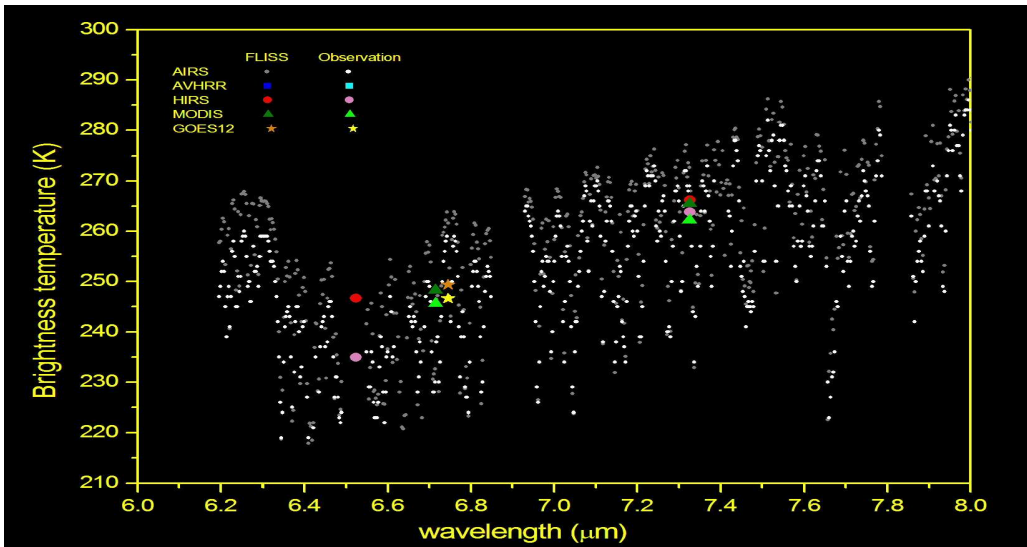
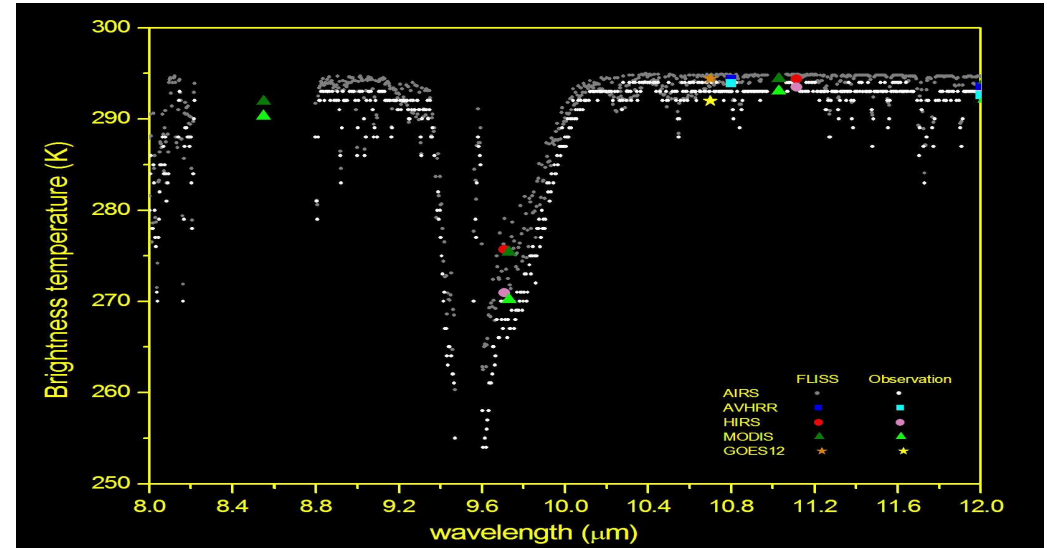
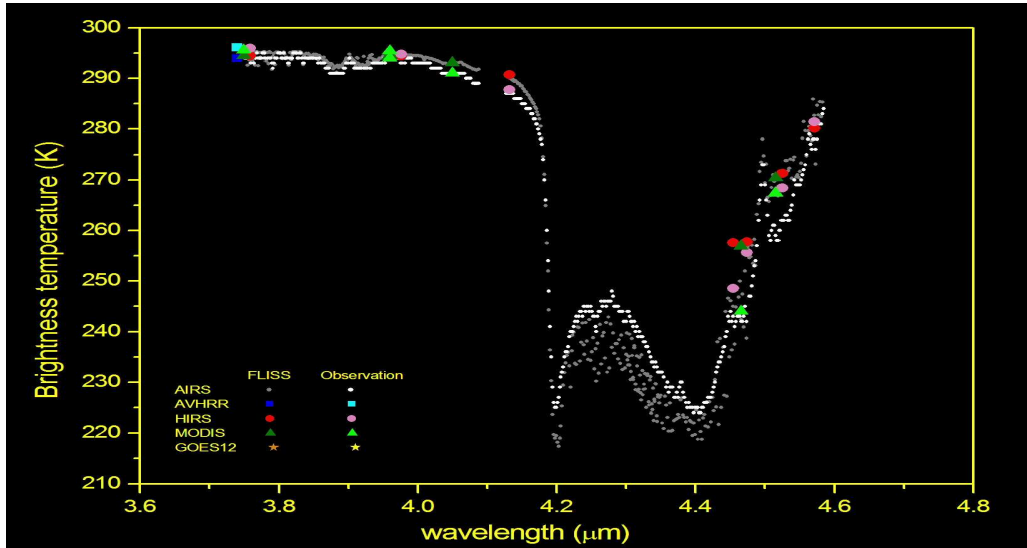
Успехи теории переноса атмосферной радиации и их применение в задачах зондирования атмосферы

Фомин Б.А.

Российский Научный Центр «Курчатовский Институт» E-mail: b.fomin@mail.ru

Correa M.P., Ceballos J.C., Souza R.A., Machado L.A.

CPTEC/INPE-Бразилия



FLISS-Fast Line-by-line Satellite Signal Simulator:

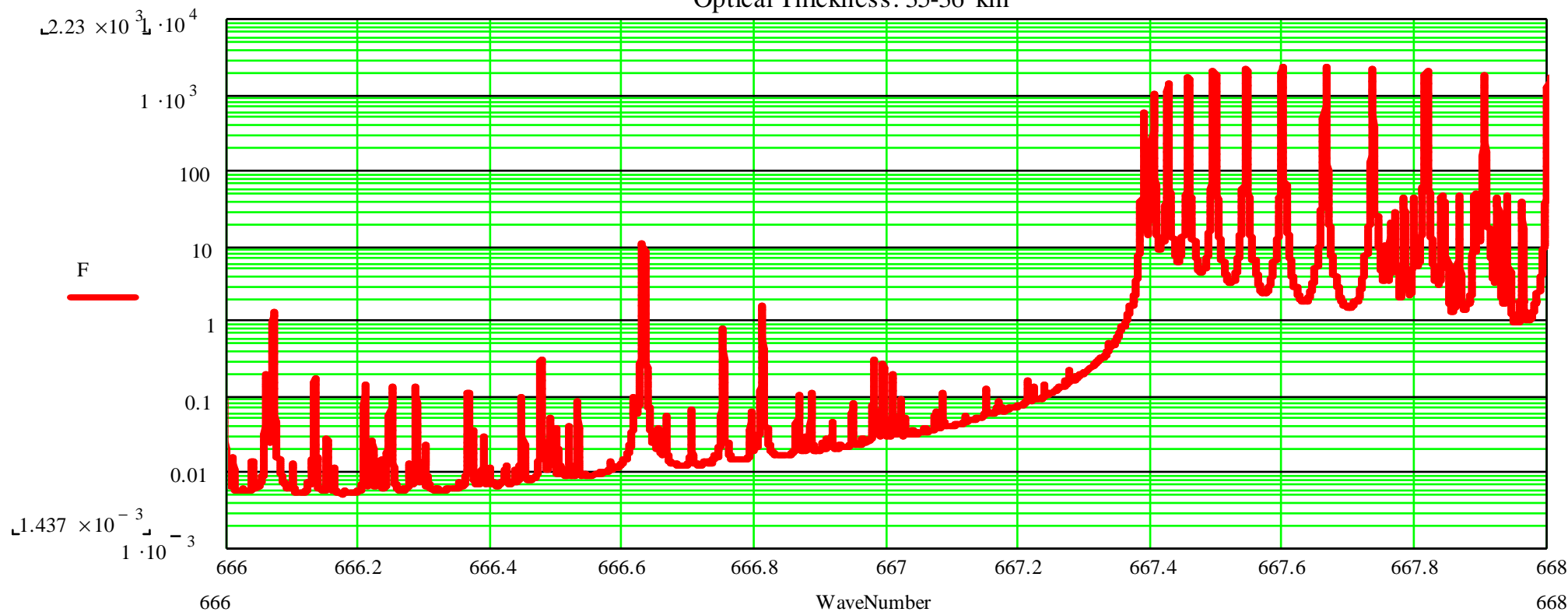
1. Универсальный (от McW до UV, любое спектральное разрешение).
2. Точный (погрешность только от исходной информации).
3. Учитывающий рассеяния как солнечной так и тепловой радиации.
4. Быстрый (минуты расчета на обычном компьютере).
5. "User-friendly".

Line-by-Line метод

Кондратьев К.Я., Тимофеев Ю.М. Прямые методы расчёта функций пропускания атмосферных газов. // Изв. АН СССР, Физика Атмосферы и океана. 1967. Т.3. N 2. С.198-206.

Пример LbL расчёта оптической толщины атм. слоя:

Optical Thickness: 35-36 km



Исходная спектроскопия

- **HITRAN** (12v, 11v, 2k, 96, ...), GEISA, P-S, etc.

ASA (Atmospheric Spectroscopy Applications) рабочая группа.

~ 1 000 000 линий для 40 газов: CO₂, H₂O, O₃...

Пример:

```
11 1882.871970 4.518E-26 1.283E+00.0197.1584
   3211.21260.38-.002140          0 1 0  0 0 0 16 4 13      16 3
   14      35524330186851 224    99.0  99.0
12 1882.879250 7.947E-26 9.842E-01.0441.2320
   1399.46330.53-.011610          0 1 0  0 0 0 8 7 1      8 6
   2      357743301824 3 2 6    17.0  17.0
```

- Чистая атмосфера:

Точность расчета интегральных потоков ~1% (основная проблема континуум, линий "хватает".)

Fomin, V.A., T.A. Udalova, E.A. Zhitnitskii, Evolution of spectroscopic information over the last decade and its effect on line-by-line calculations for validation of radiation codes for climate models, *J.Q.S.R.T.*, 86, 73-85, 2004.

Проблема: как считать коэффициент поглощения !!!

В "точных"(line-by-line) вычислениях учитывается
 $\sim 1e^5$ линий на сетке до $\sim 1e^7$ точек.

Коэффициент поглощения $K(\nu) = \sum_{i=1,2,\dots,1000000} F_i(\nu)$

**Контур $F_i(\nu)$: Лоренцевский,
 $S_i / [(\nu - \nu_i)^2 + a_i^2]$
Фойгта и т.п. (+ поправки).**

[Fomin, B.A., Effective interpolation technique for line-by-line calculations of radiation absorption in gases, *J.Q.S.R.T.*, 53, 663-669, 1995.]

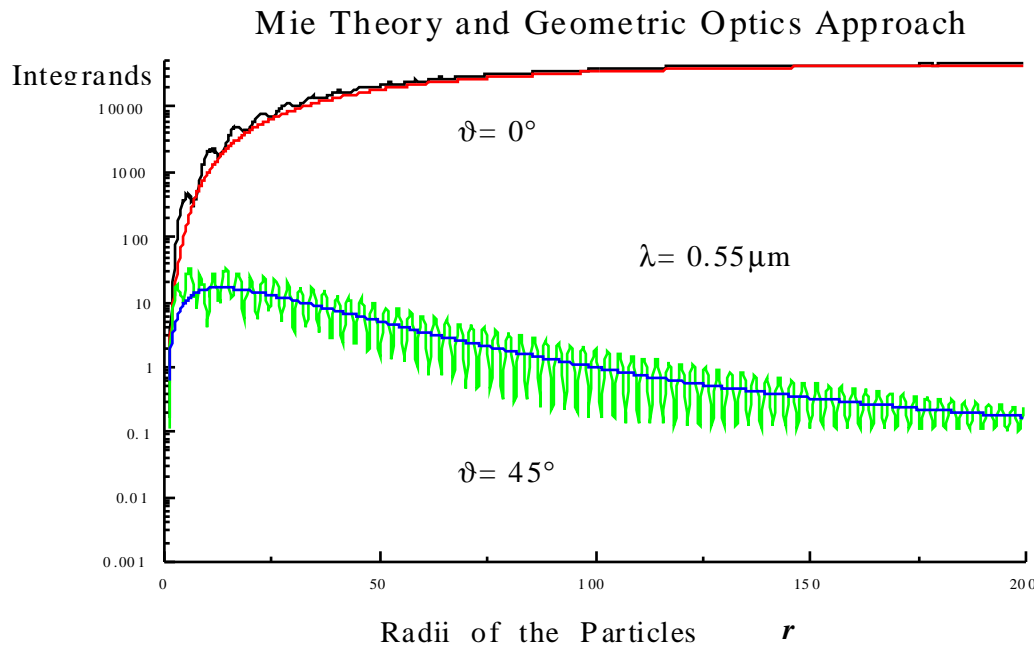
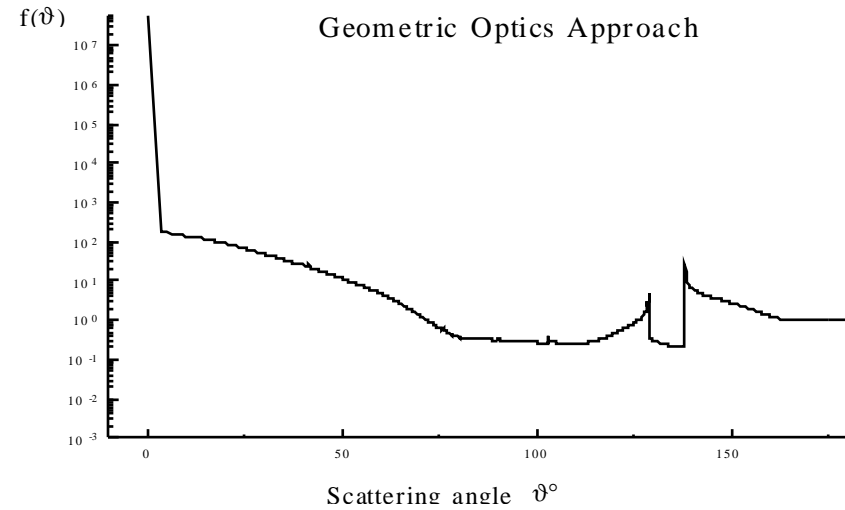
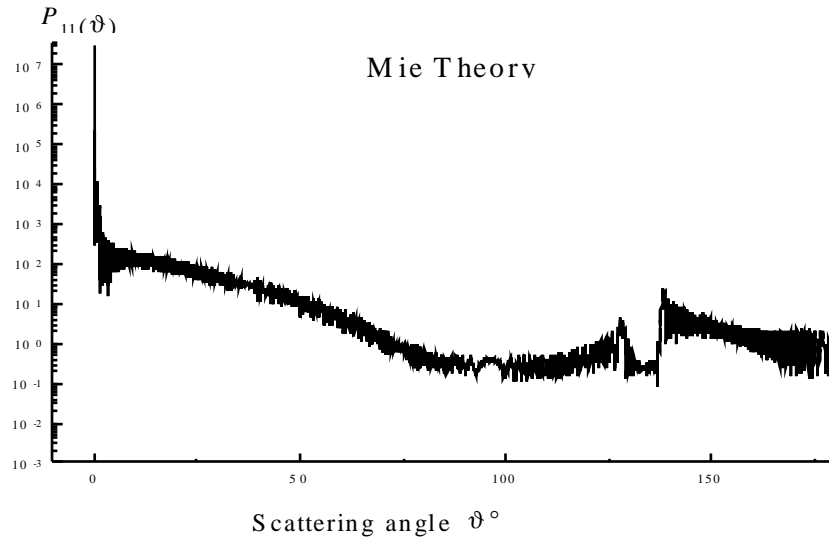
→ выигрыш **2 порядка!**

Время расчёта **K почти не зависит от
спектрального разрешения!**

Рассеяние радиации сферическими частицами.

Mie *G. Ann. Phys.*, v.25., 377-445, 1908

Fomin & Mazin, *Atm. Res.*, v.47-48, 127-153, 1998



База (4-ре параметра Стокса и т.п.):

...

179.0 3.03E-2 3.04E-2 -3.03E-2 -1.51E-4

179.5 3.05E-2 3.05E-2 -3.05E-2 -4.50E-5

180.0 3.05E-2 3.05E-2 -3.05E-2 0.0E+00

0.55 420 5.257E-7 5.90E-7 6.43E-8

0.000 132.11 132.11 132.11 0.0E+0

2.4E-3 131.85 131.85 131.85 -1.96E-6

4.8E-3 131.14 131.14 131.14 -7.86E-6

9.7E-3 128.74 128.74 128.74 -3.14E-5

...

Учет рассеяния в атмосфере.

“Точный” учёт рассеяния в облаках и аэрозоле методом Монте-Карло очень эффективен для LBL!!!

-0.5

Относительная погрешность $\sim N$

Время расчета пропорционально числу каналов и почти не зависит от спектрального разрешения в расчёте !!!

Fomin, B.A. and I.P. Mazin, Model for an investigation of radiative transfer in cloudy atmosphere, *Atmospheric Research*, 47-48, 127-153, 1998.

Fomin, B.A., Monte-Carlo algorithm for **line-by-line calculations of thermal radiation in multiple scattering layered atmospheres**, *J. Quant. Spectrosc. Rad. Transfer* 2471, DOI.1016/j.jqsrt.2005.05.078.

Характерные времена расчетов (notebook) :

	4-200 μm	0.2-10 μm
Без рассеяния	\sim 1-10 мин.	\sim 1-10 мин.
С рассеянием	\sim 1-10 час.	\sim 10 – 1 час.

User-friendliness.

1. Control file.

SENSOR.data

c:\databases\Sensors\MODIS_TERRA.TXT

c:\databases\ATMOSPHERES\Standard_33\MLS4_300.b95

c:\databases\Surfaces\SNOW

Result

2. Control file. (SENSOR.data)

30.0 ! Solar zenith angle

3.0 ! Mean number of "photons" at each wavenumber point

12 ! Number of channels

2 14 ! Sensor's channels

5 ! Number of traps for zenith angles (outgoing radiation)

0. 10. 20. 30. 75. 90. ! (N+1) Boundaries of these traps

2 ! Number of traps for azimuth angles (outgoing radiation)

0. 90. 180. ! (N+1) Boundaries of these traps

3.Control file. (рассеивающие свойства атмосферы).

```
4 ! MAR-2 model (Number of Layers)
18181.818 ! Given WaveNumber (cm^-1)
0.025 0.75 0.0025 0.000218 ! Extinctions at Given WaveNumber
 1 0.0 2.0 ! 1-th layer (boundaries in km)
 2 ! Number of aerosol fractions
0.999573 4.29942e-4 ! Their weights
c:\DATABASES\Clouds&Aerosols\CLASSIC_database\W_S_112.BASIC
c:\DATABASES\Clouds&Aerosols\CLASSIC_database\OCEAN_112.BASIC
 2 2.0 6.0 ! 2-nd layer(boundaries in km)
 3 ! Number of aerosol fractions
0.937437 2.26278E-6 6.25607E-2 ! Their weights
c:\DATABASES\Clouds&Aerosols\CLASSIC_database\W_S_112.BASIC
c:\DATABASES\Clouds&Aerosols\CLASSIC_database\DUST_112.BASIC
c:\DATABASES\Clouds&Aerosols\CLASSIC_database\SOOT_112.BASIC
 3 6.0 12.0 ! 3-nd layer(boundaries in km)
3
0.937437 2.26278E-6 6.25607E-2 ! Their weights
c:\DATABASES\Clouds&Aerosols\CLASSIC_database\W_S_112.BASIC
c:\DATABASES\Clouds&Aerosols\CLASSIC_database\DUST_112.BASIC
c:\DATABASES\Clouds&Aerosols\CLASSIC_database\SOOT_112.BASIC
 4 12.0 20.0
1
1.0
c:\DATABASES\Clouds&Aerosols\CLASSIC_database\H2SO4_112.BASIC
```


Примеры

Figure 1. Brightness temperatures in the IASI channels (LOS= 60) for tropical atmosphere (8 atmospheric gases H₂O, CO₂, O₃, CH₄, CO, N₂O, O₂ and N₂ for 45 altitude levels from 0 up to 70 km).

Upper (red) line τ_0 - clear-sky atmosphere; middle (blue) τ_1 and lower (pink) τ_{10} - for cloud of optical thickness 1.0 and 10.0.

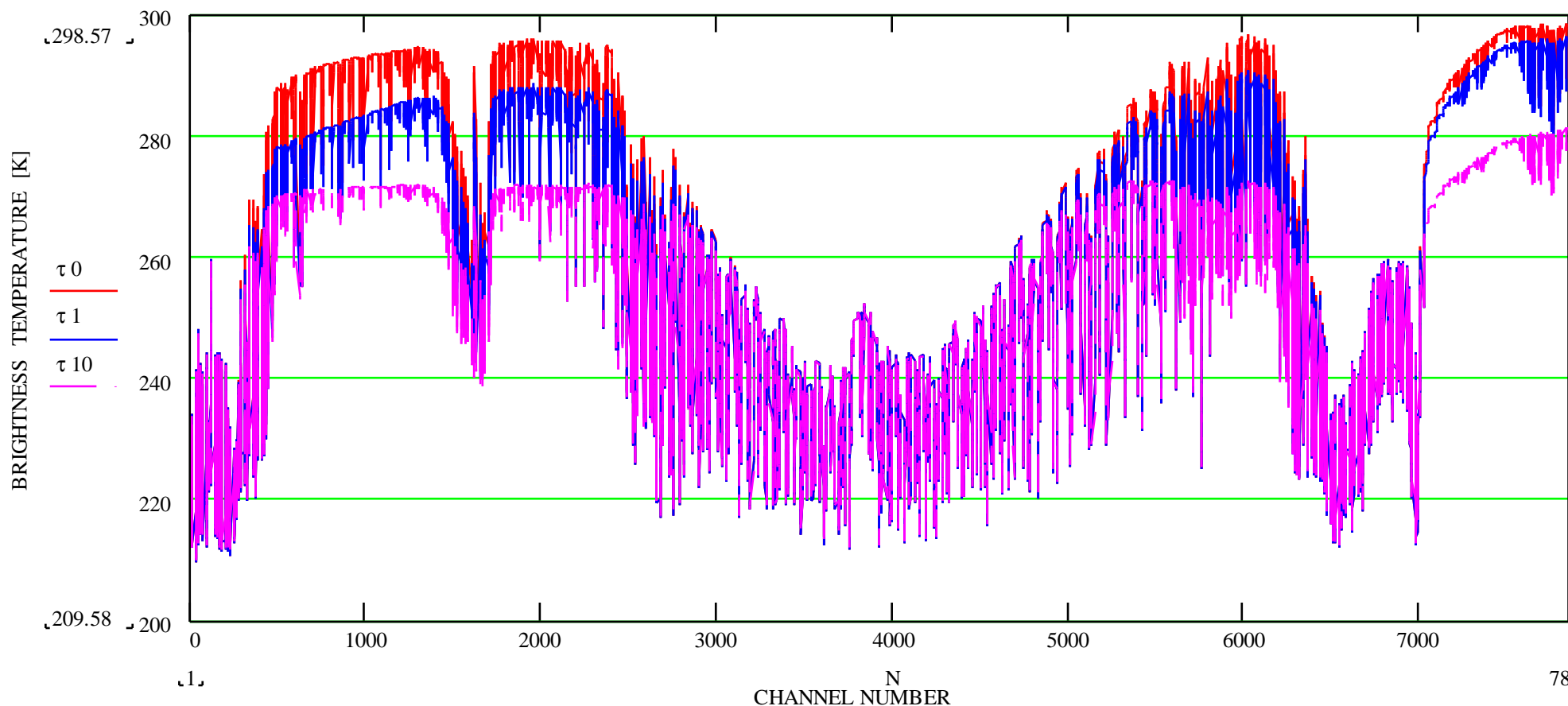
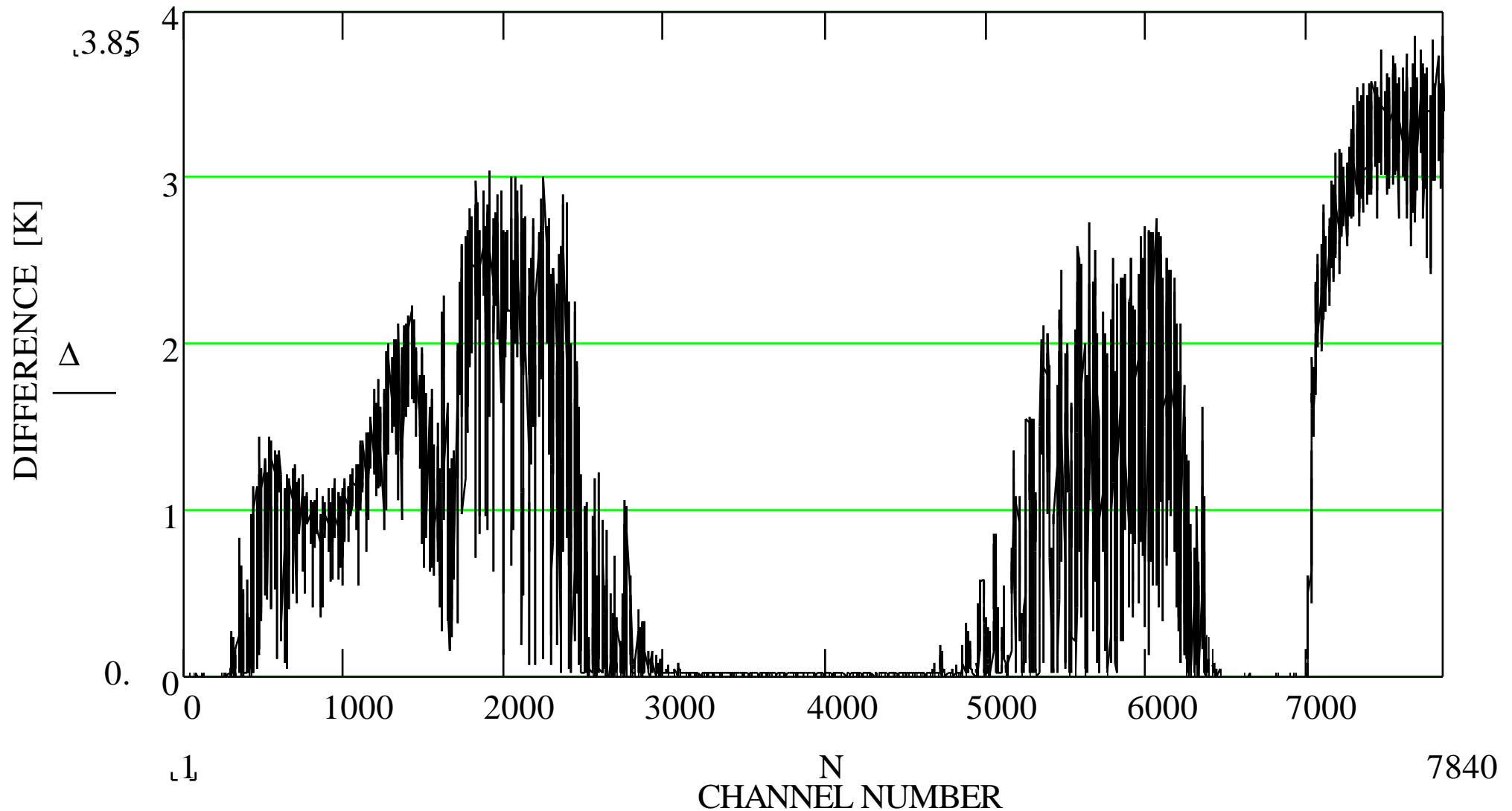
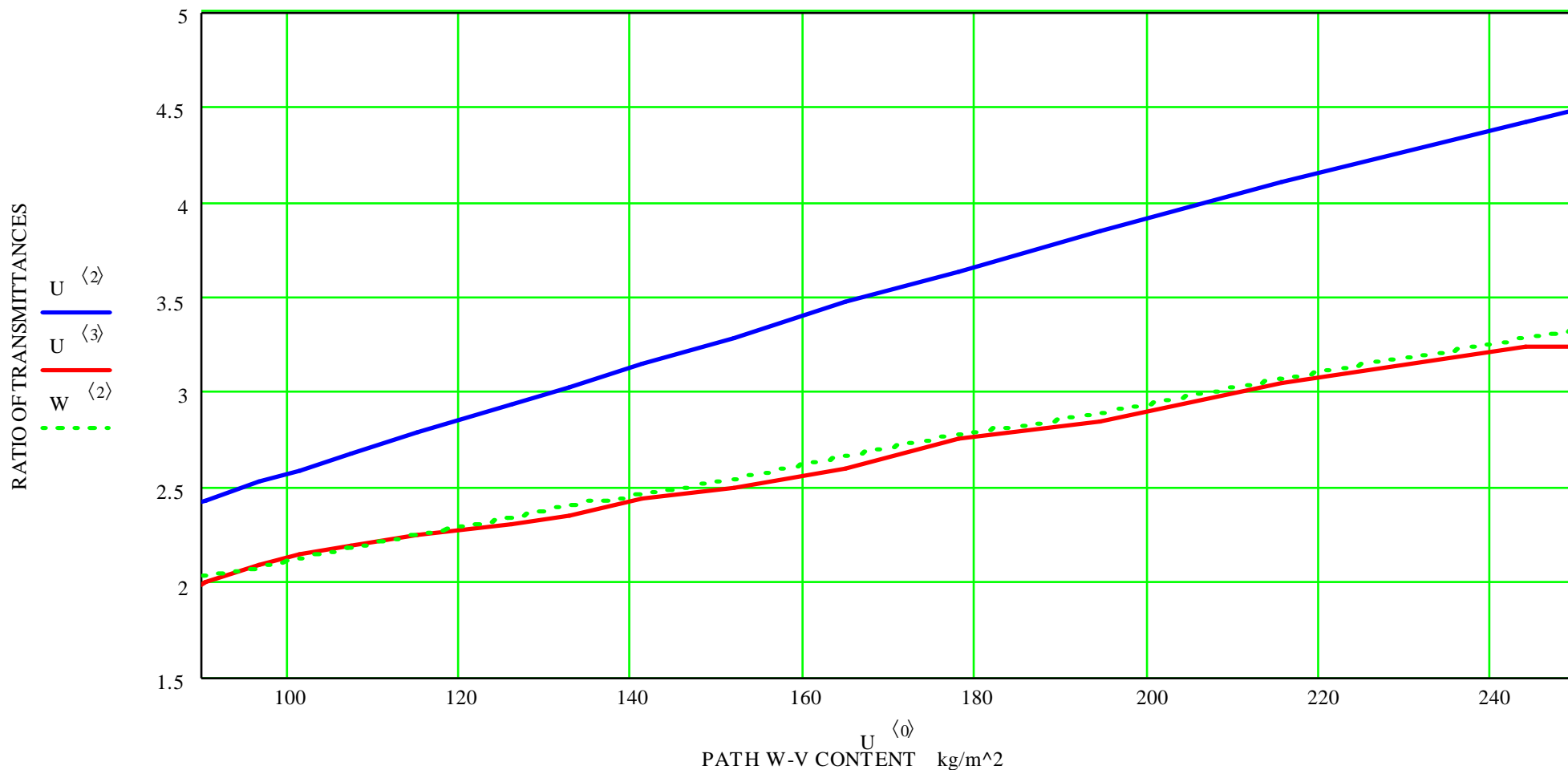


Figure 2. Difference Δ between the brightness temperature calculations with and without cloud scattering for the cloud of optical thickness 1.0. The same atmospheric conditions that for Figure 1.



Использование сигналов в 18 и 19 каналов MODIS для определения содержания водяного пара.

Ratio of Transmittances ch19/ch18; vs. Water Vapor Content, Tropical Atmosphere; red- MODIS team
green- Fomin, HITRAN-11v, without continuum
blue - Fomin, HITRAN-11v, with CKD-2.4 continuum



Сопоставление "PT-table" и *современных* LBL методов

"PT-table"

Требуется хранение больших объёмов информации

Время расчета:

1. Обратно пропорционально спектральному разрешению и пропорционально ширине спектрального интервала.
2. Пропорционально количеству газов и не зависит от числа линий.

LBL

Не требуется хранения информации

Время расчета:

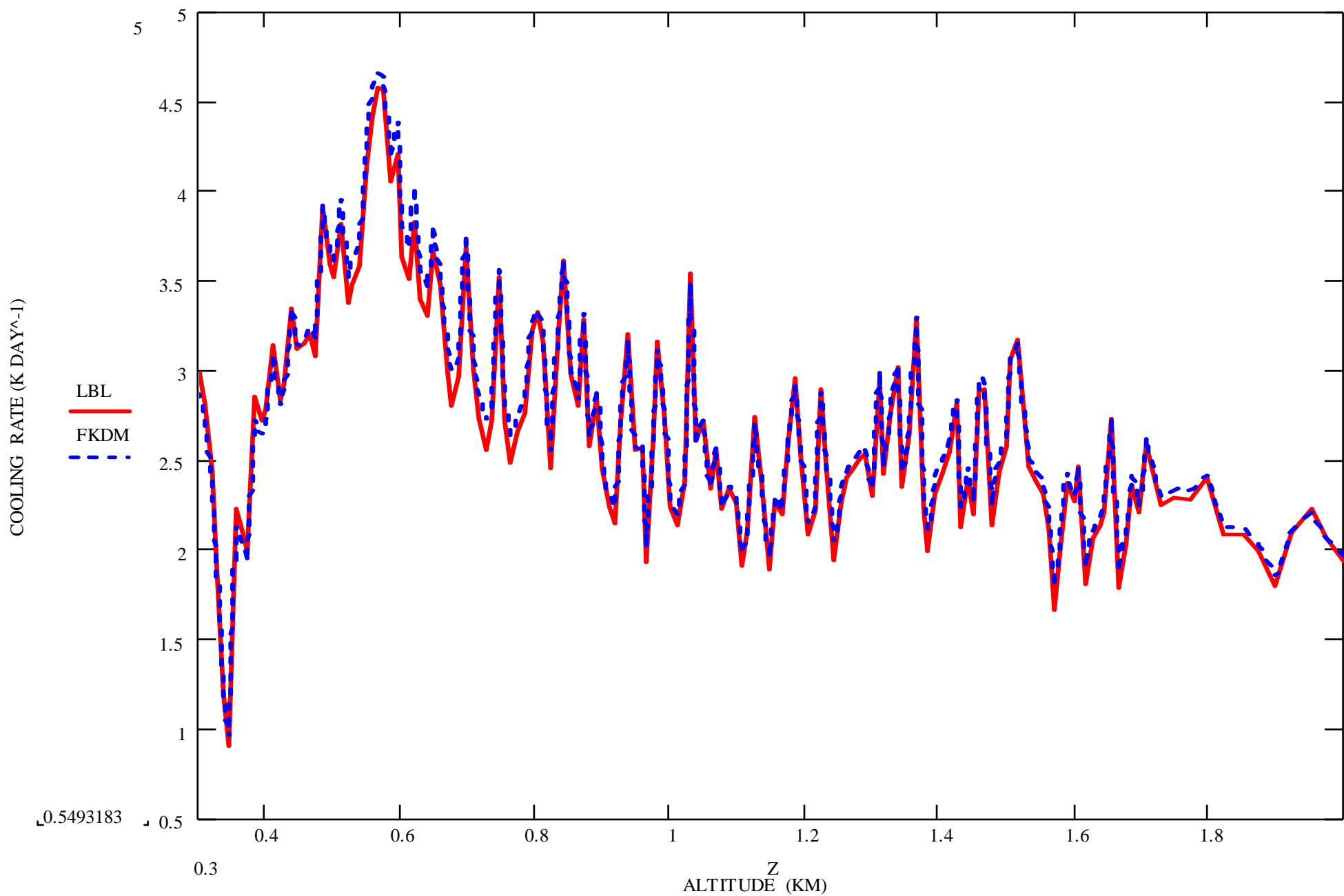
1. Непосредственно ~не зависит от спектрального разрешения и ширины интервала.
2. Пропорционально числу линий и не зависит от количества газов.

В расчётах требующих высокого спектрального разрешения и учёта нескольких газов LBL метод может быть эффективнее "PT-table" метода.

Заключение

- Высокая эффективность *современных* LBL алгоритмов делает возможным их непосредственное применение даже в “on-line” системах обработки измерений.
- FLISS рекомендуется для разработки аппаратуры, планирования спутниковых экспериментов, а также проверки программ обработки измерений.
- FLISS показал высокую эффективность как обучающая программа.
- FLISS в сочетании с разработанными автором LBL программами расчёта атмосферной радиации и методами её параметризации позволяет существенно повысить эффективность интерпретации натурных экспериментов, включая спутниковые (*"ab initio"* расчёты).

Радиационные выхолаживания в реальной тропической атмосфере:
обработка измерений влажности (полученных с помощью радиозонда).



Радиационный нагрев в облаке

CLOUD 1.8-2.0 km

