

Информационно-алгоритмические основы атмосферной коррекции спутниковых изображений

**Афонин С.В., Белов В.В., Соломатов Д.В.,
Якубов В.П.**

**Институт оптики атмосферы СО РАН
Томский государственный университет
Отдел проблем информатизации ТИЦ СО
РАН**

e-mail: belov@iao.ru

Основная цель работы:

создание простого и удобного в применении, быстросдействующего программного обеспечения (ПО) для проведения имитационного моделирования и атмосферной коррекции аэрокосмических изображений различного пространственного разрешения

Атмосферная коррекция =
модель учета искажающих свойств
атмосферы +
априорная информация о параметрах
атмосферы в момент спутниковых
измерений

Популярные оптические модели атмосферы:

Modtran, Lowtran, 6S, и т. п.

Коммерческое программное обеспечение:

ERDAS+ATCOR, ENVI+FLASH и т. п.

Accuracy of the ATCOR 2/3 Method *

The accuracy of the method depends on several factors :

- radiometric calibration accuracy of the sensor (typically **3-10%**)
- radiative transfer code : relative accuracy of MODTRAN 4 better than **5 %** in the atmospheric window regions
- correct choice of atmospheric input parameters : **up to user !!!**
- for near nadir view angles (off-nadir angle < 10 degree), a flat terrain, and avoiding the specular and backscattering regions, an accuracy of the retrieval of surface reflectance of **± 0.02** (reflectance < 0.10) and **± 0.04** (reflectance > 0.40) is possible.
- in the thermal region, the surface temperature retrieval additionally depends on the appropriate surface emissivity map. If the deviation of the true surface emissivity to the assumed emissivity is less than **0.02**, than the temperatures will be accurate to about **1-1.5 K**.

* http://www.rese.ch/atcor/atcor3/atcor2_method.html

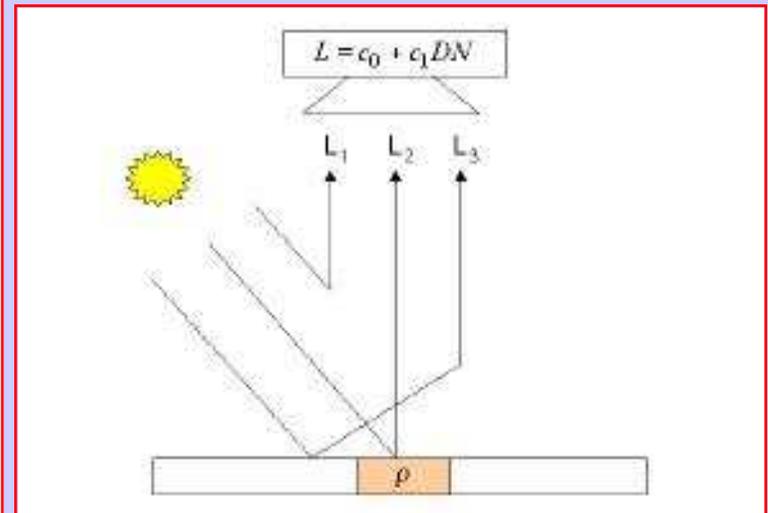
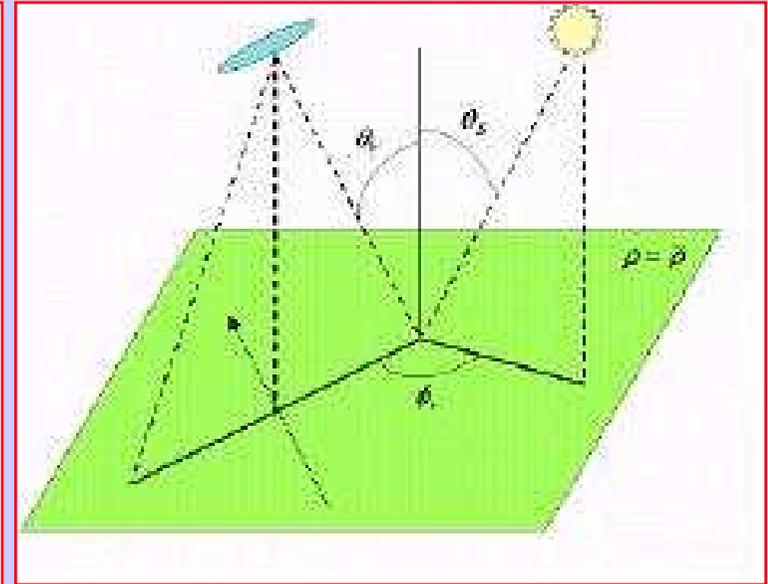
Источники априорной информации:

- 1) **сеть наземных метеорологических и фотометрических измерений параметров атмосферы;**
- 2) **спутниковые измерения метеопараметров атмосферы и характеристик атмосферного аэрозоля;**
- 3) **региональные статистические и прогностические модели параметров атмосферы**

Интенсивность излучения ПЗ, искаженного атмосферой (видимый, ближний ИК диапазоны)*

$$L = L_p(\Theta_v, \Theta_s, \phi) + \tau_v(\Theta_v) \frac{\rho}{\pi} \frac{E_g(0)}{1 - \rho_r s}$$

- L at-sensor radiance for surface reflectance ρ ;
- L_p path radiance ;
- τ_v total ground-to-sensor atmospheric transmittance, sum of direct τ_{dir} and diffuse τ_{dif} transmittance;
- E_g global flux on a horizontal surface, sum of direct (E_{dir}) and diffuse (E_{dif}) flux, $E_g(0)$ is calculated for a ground surface with $\rho = 0$;
- ρ_r large scale reference background reflectance determining the effective global flux ($\rho_r=0.15$ is used for ATCOR) ;
- s spherical albedo of the atmosphere, accounts for atmospheric backscattering to the ground.



Интенсивность излучения ПП, искаженного атмосферой (ИК диапазон)

$$I_{\lambda} = B_{\lambda}[T_{\lambda}] = I_{\text{SRF}} + I_{\text{ATM}} + I_{\text{RFL}} + I_{\text{SCT}}$$

где

↑ информативная часть

B_{λ} – функция Планка

T_{λ} – радиационная температура, эквивалентная I_{λ}

I_{SRF} – ослабленное атмосферой излучение ПП

I_{ATM} – тепловое излучение атмосферы

I_{RFL} – отраженный от ПП падающий поток излучения

I_{SCT} – рассеянное атмосферой излучение

Ослабленное атмосферой излучение ПП (I_{SRF})

$$I_{\text{SRF}} = \varepsilon_{\lambda}^S B_{\lambda}[T_S] P_{\lambda},$$

$$P_{\lambda} = \exp[-\tau_{\lambda}(\theta)],$$

где

P_{λ} – функция пропускания атмосферы

τ_{λ} – оптическая толщина атмосферы

θ – угол наблюдения (наклона оси прибора)

T_S – температура подстилающей поверхности (ТПП)

ε_{λ}^S – излучательная способность ПП ($\approx 0,96-0,99$)

Атмосферная коррекция ИК-изображений ПП

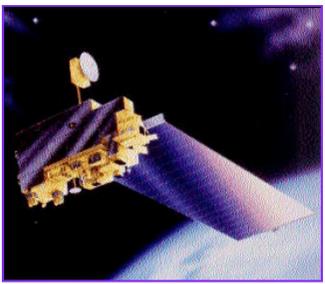
Дано $I_\lambda(x,y)$; $B_\lambda[T_S(x,y)]$ и $T_S(x,y) = ?$

Вычисляем $\Delta I_{COR}(x,y) = I_{ATM} + I_{RFL} + I_{SCT}$ и $P_\lambda(x,y)$

$$B_\lambda[T_S] = (I_\lambda - \Delta I_{COR}) / (P_\lambda \epsilon_\lambda^S); B_\lambda[T_S] \rightarrow T_S(x,y)$$

Априорная информация:

- Вертикальные профили метеопараметров атмосферы (ключевые - температура и влажность воздуха)
- Характеристики атмосферного аэрозоля (тип аэрозоля, АОТ и МДВ)
- Излучательная способность поверхности ϵ_λ^S
- Геометрические параметры спутниковых измерений: угол наблюдения θ , зенитный угол Солнца Z , относительный азимут наблюдений φ



EOS AM spacecraft

Общая блок-схема атмосферной коррекции

Спутниковая система EOS/MODIS

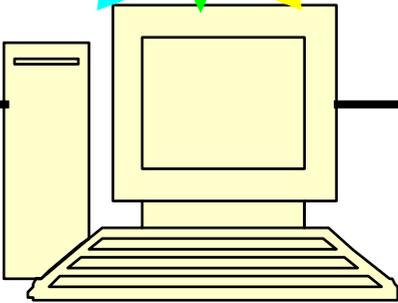
Спектральные каналы измерения метеопараметров атмосферы

Спектральные каналы измерения параметров подстилающей поверхности

Спектральные каналы измерения параметров атмосферного аэрозоля

Программный блок «МЕТЕО»

Программный блок «АЭРОЗОЛЬ»



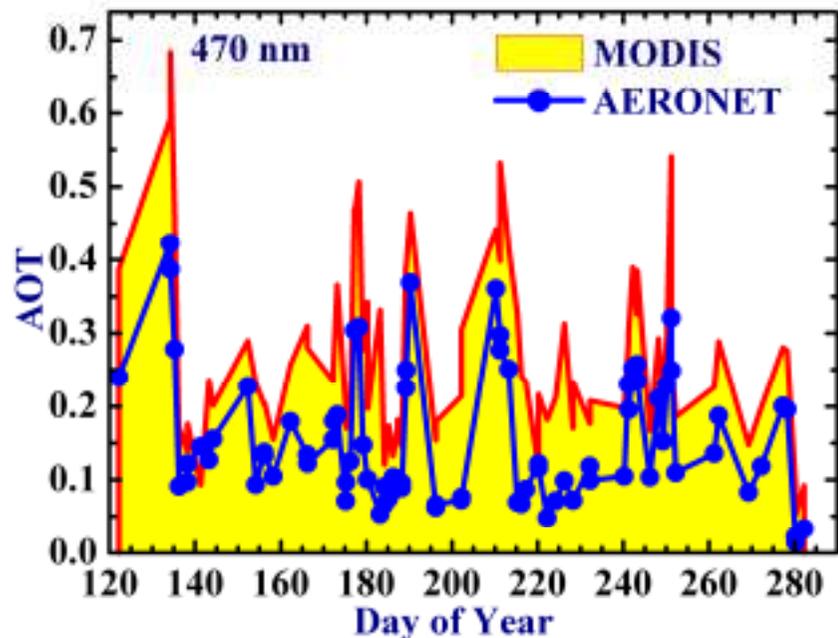
Априорная информация для блока атмосферной коррекции:
вертикальные профили температуры и влажности воздуха, общее содержание водяного пара и озона

Априорная информация для блока атмосферной коррекции:
оптические характеристики атмосферного аэрозоля

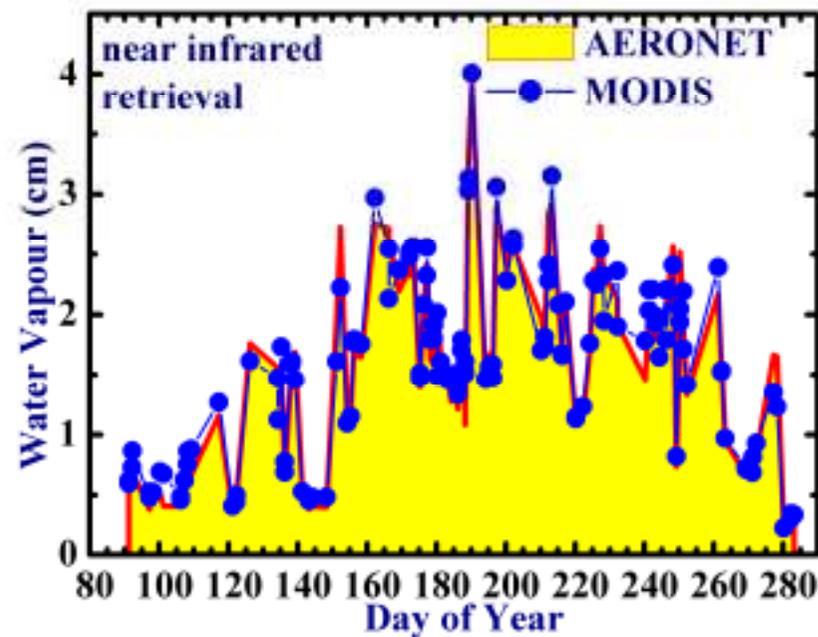
Программный блок «Атмосферная коррекция»

Априорная информация:
Излучательная способность ПП

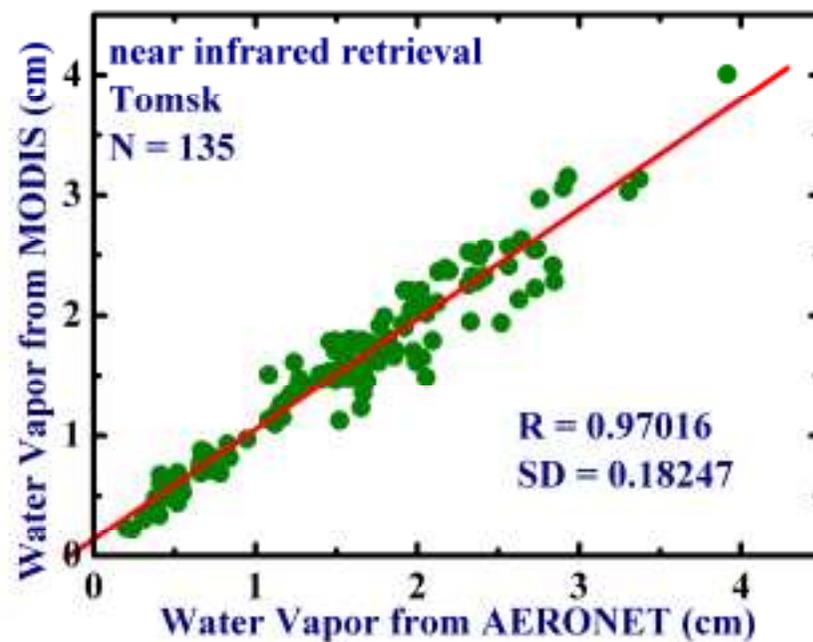
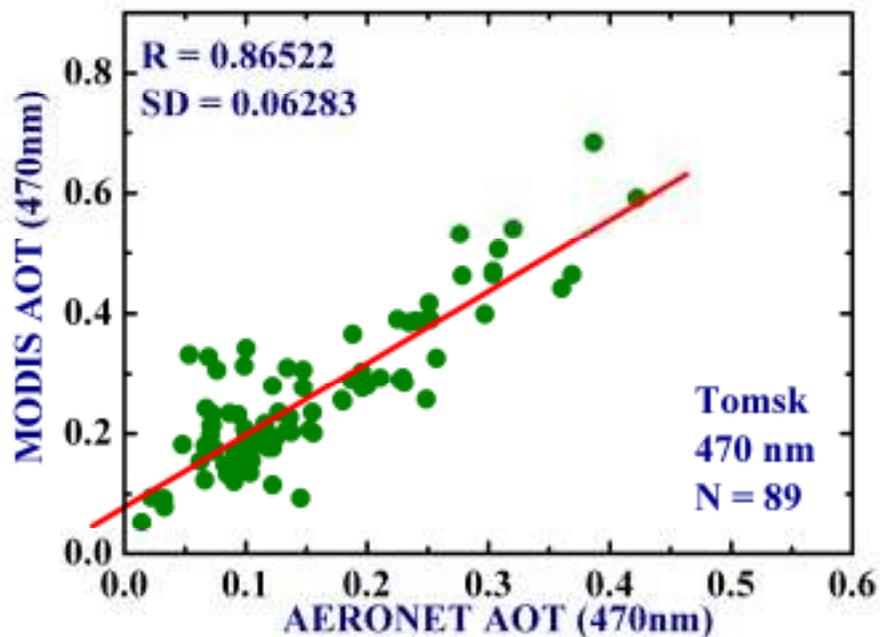
Спектральные отражательные способности (0.66 мкм, 0.86 мкм, 2.1 мкм)
температура подстилающей поверхности (3.96 мкм, 11 мкм, 12 мкм)



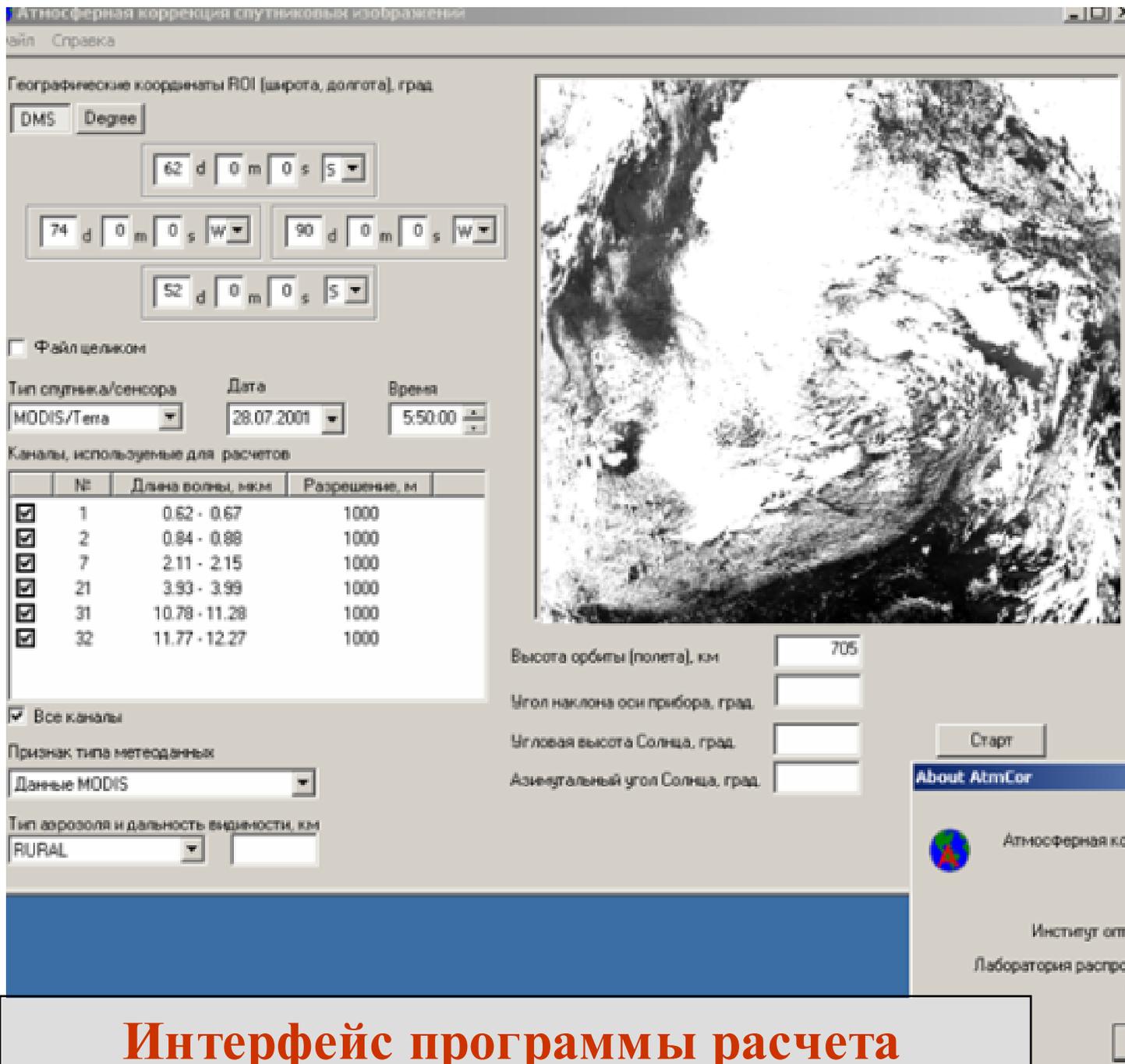
$$Y=0.07845+1.19323*X$$



$$Y=0.13772+0.91465*X$$

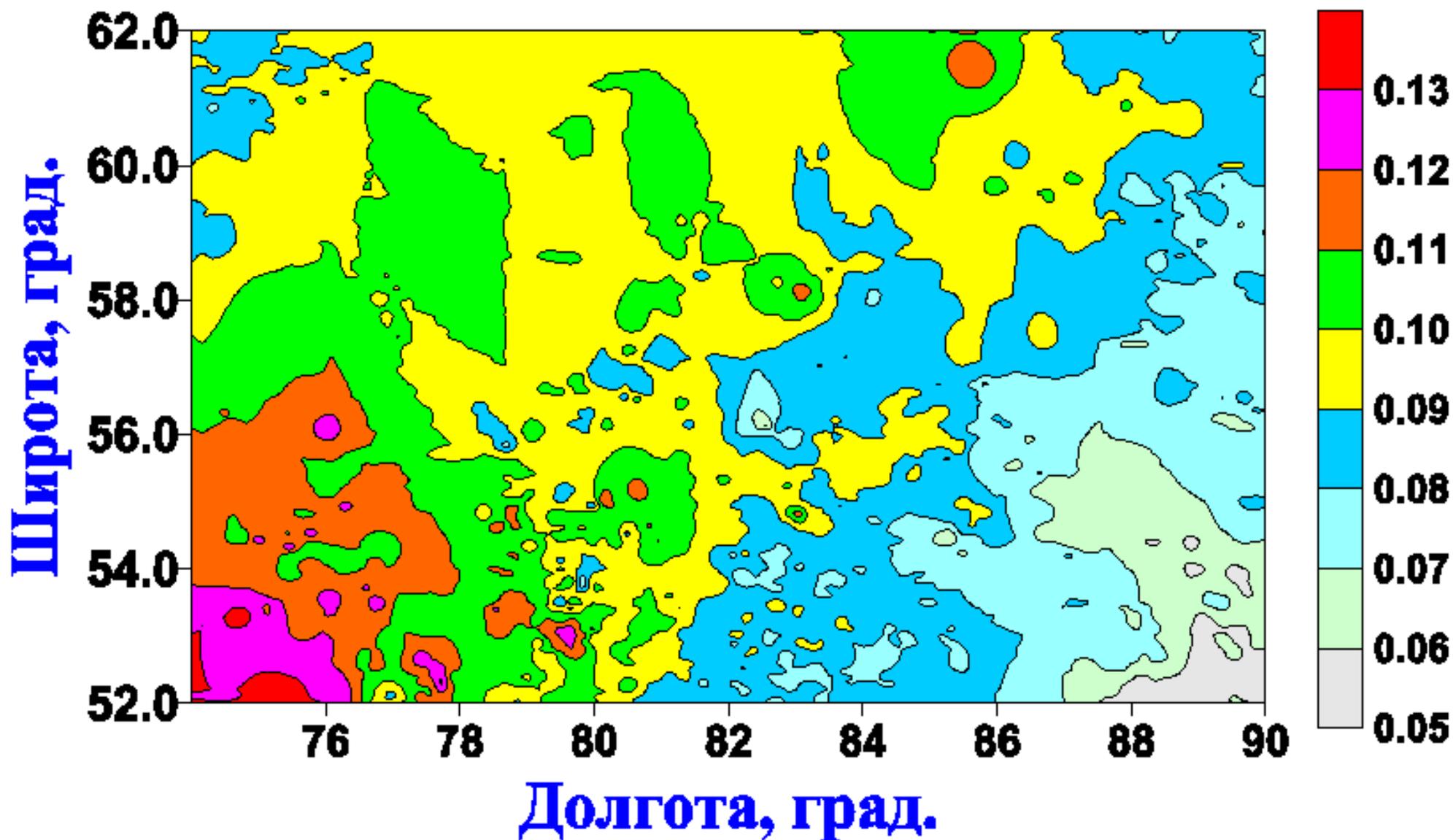


Результаты валидации спутниковых данных MOD04 и MOD05
(Томск, 2003 год).

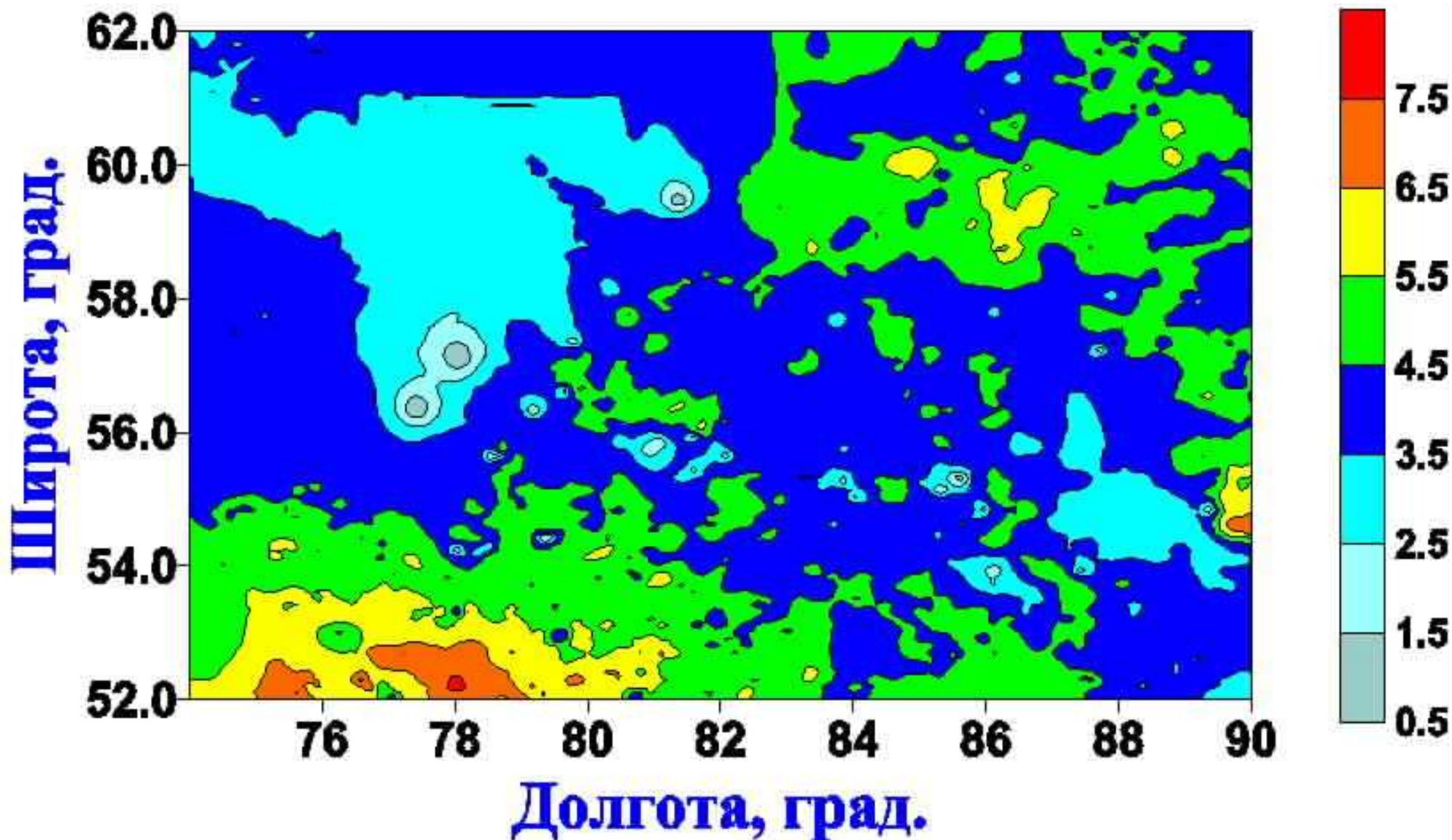


АОТ (466 нм):
Среднее = 0.313
СКО = 0.108
АОТ=0.036 - 0.749

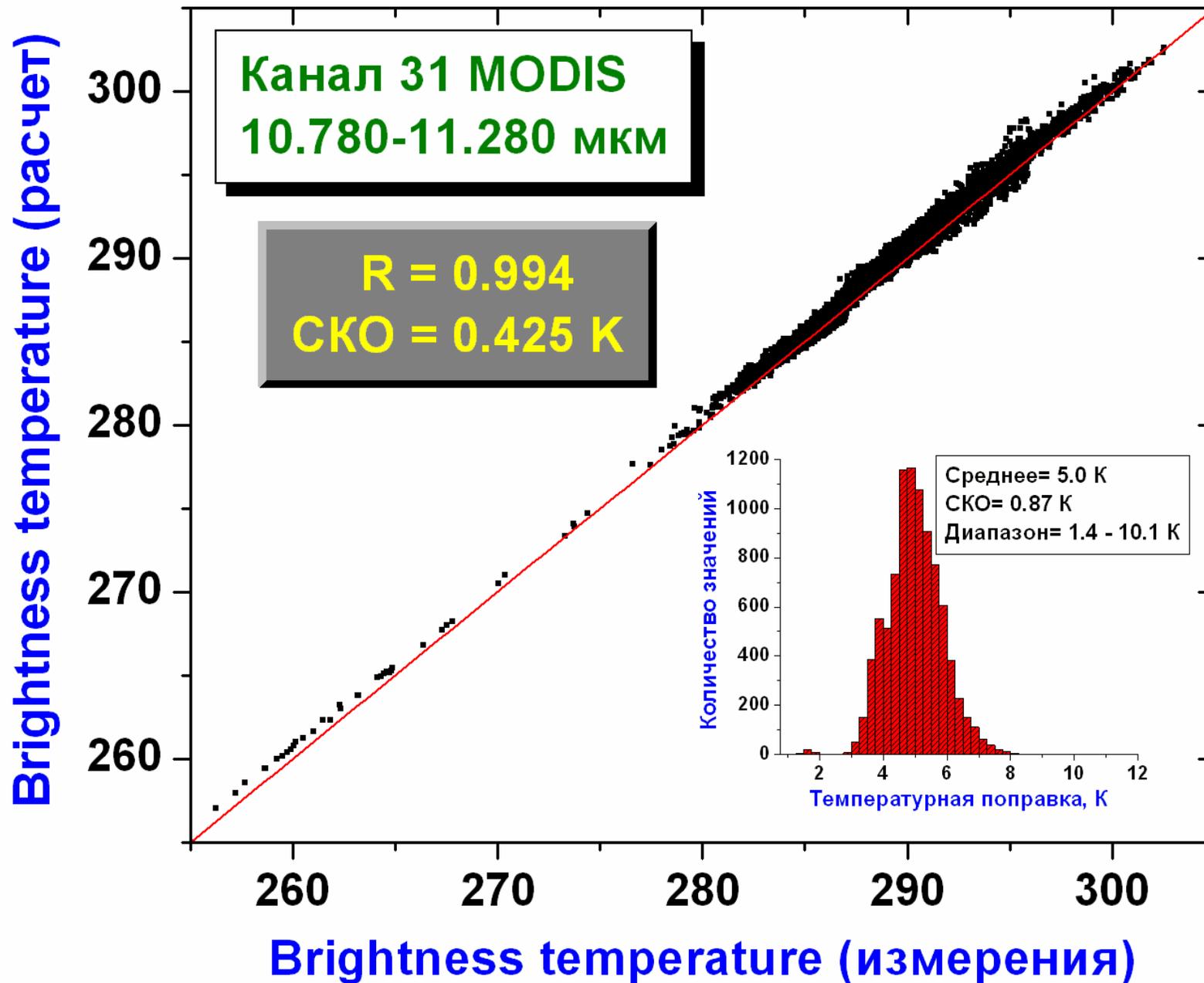
Интерфейс программы расчета характеристик атмосферного искажения спутниковых изображений



Пространственное распределение интенсивности рассеянного излучения (Path Radiance):
канал 3 MODIS/Terra ($\lambda=466$ нм); 28.07.2001, 05:50 GTM

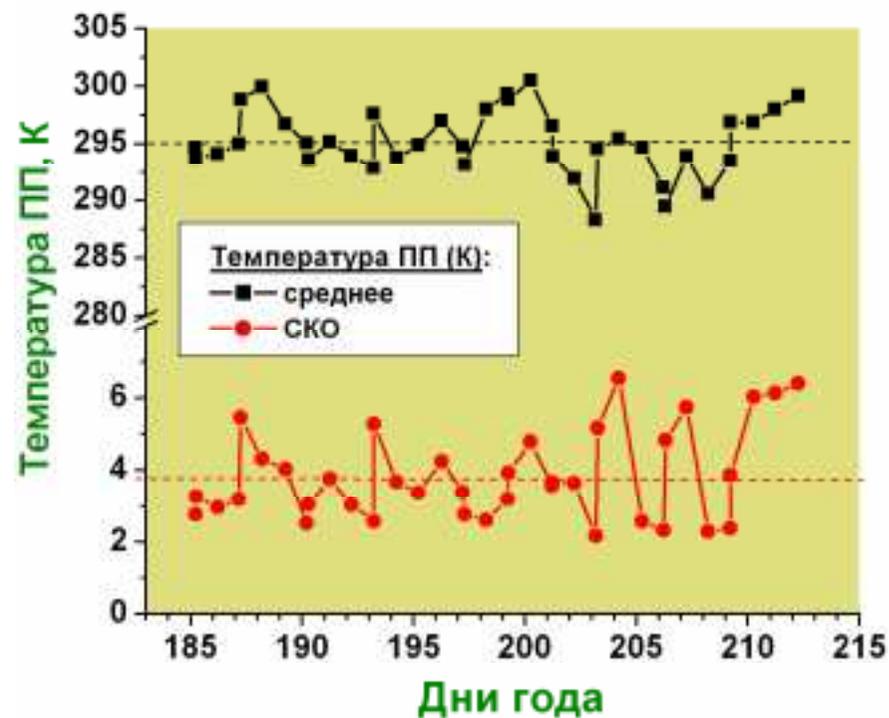
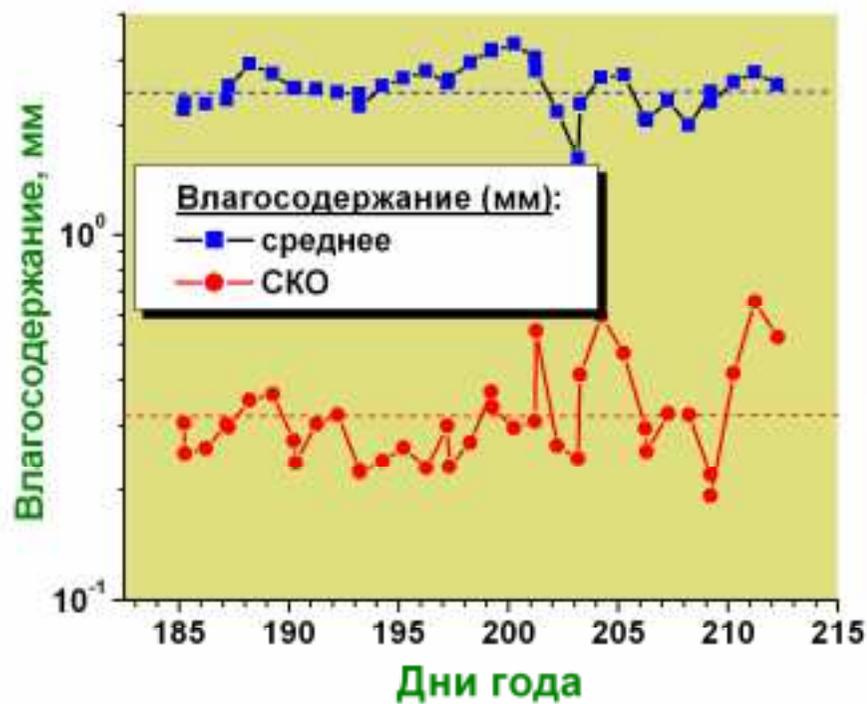
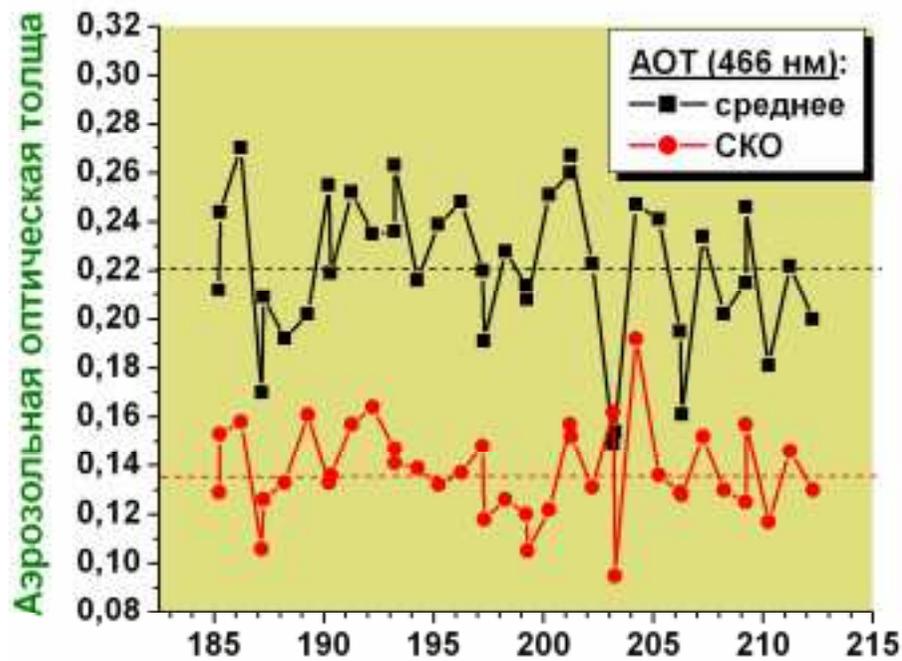


Пространственное распределение атмосферных температурных поправок:
канал 31 MODIS/Terra ($\lambda=11$ мкм); 28.07.2001, 05:50 GMT

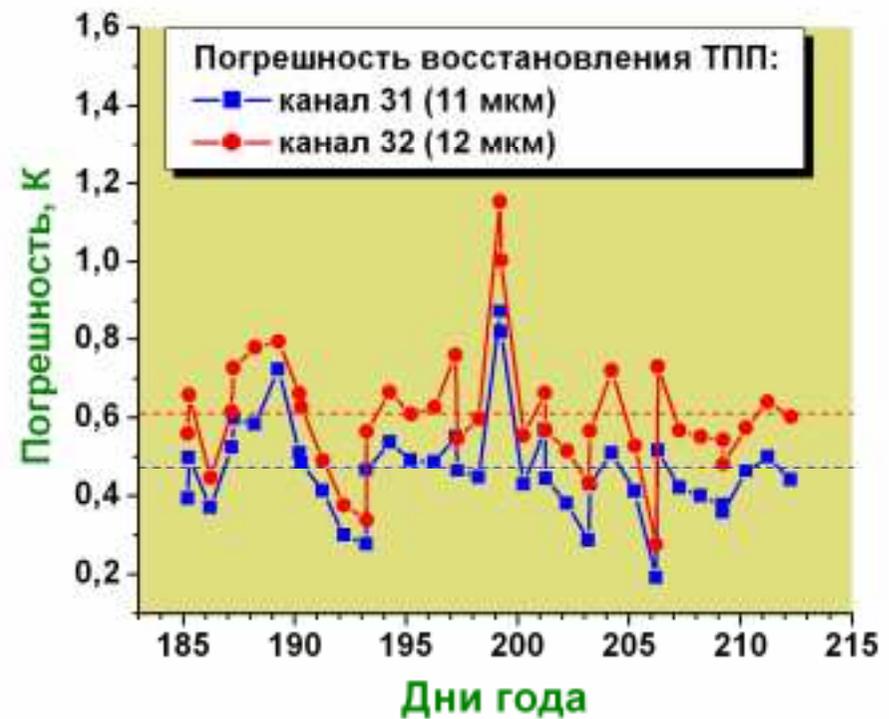
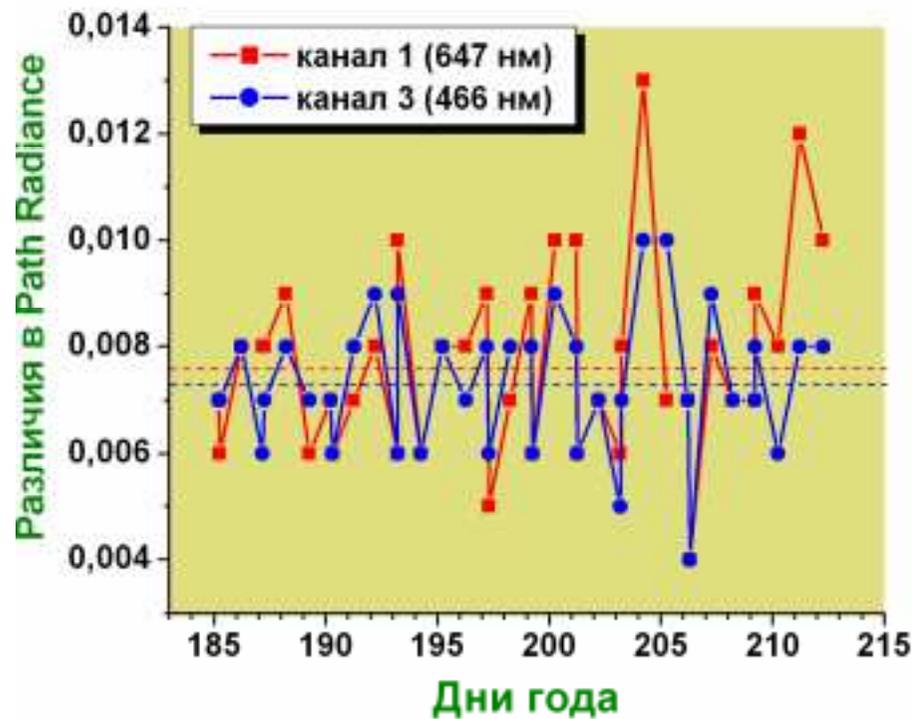
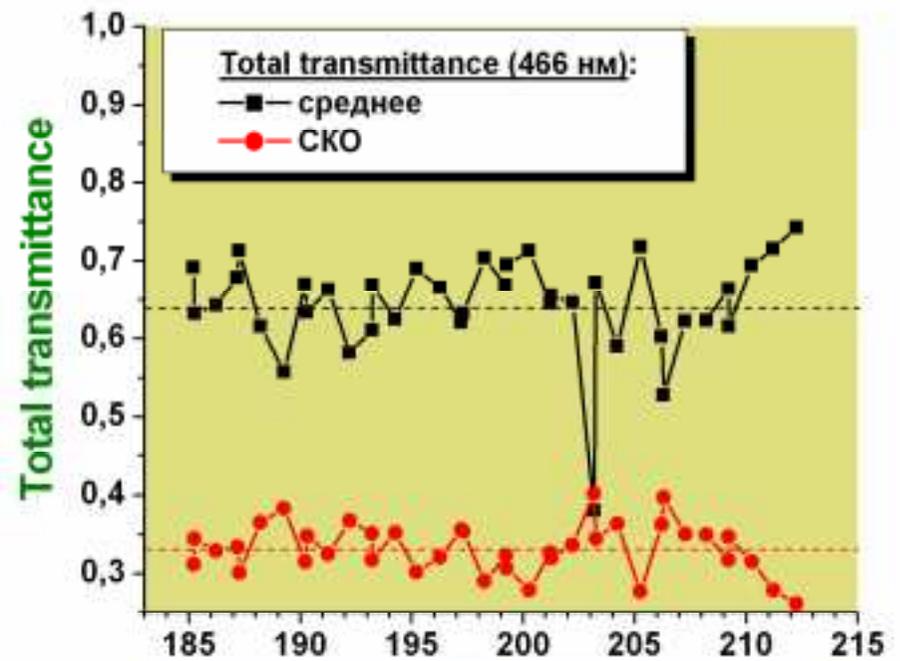
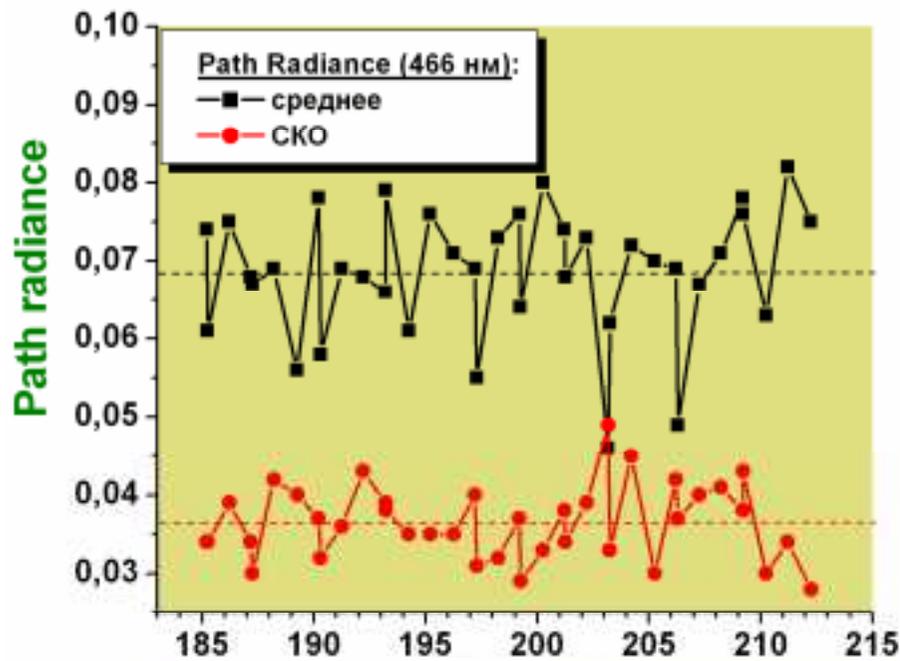


16

Результаты сравнения спутниковых и расчетных значений яркостных температур; дана гистограмма температурных искажений



**Изменчивость условий наблюдений с помощью MODIS/Terra:
 Томская и Новосибирская области, июль 2001 г.**



**«Погрешность» учета атмосферных искажающих факторов:
 MODIS/Terra, Томская и Новосибирская области, июль 2001 г.**



Блок-схема работы программного комплекса АТОВС (обработка данных NOAA POES)

Scanex/
RAW

HRPconv

L1F

L1Fconv

Calibration
data

HRPT
minor
frame

NORAD_tle
TBUS

АТОВС
and
AVHRR
Pre-processing
Package
(AAPP)

L1B

L1C

L1D

19

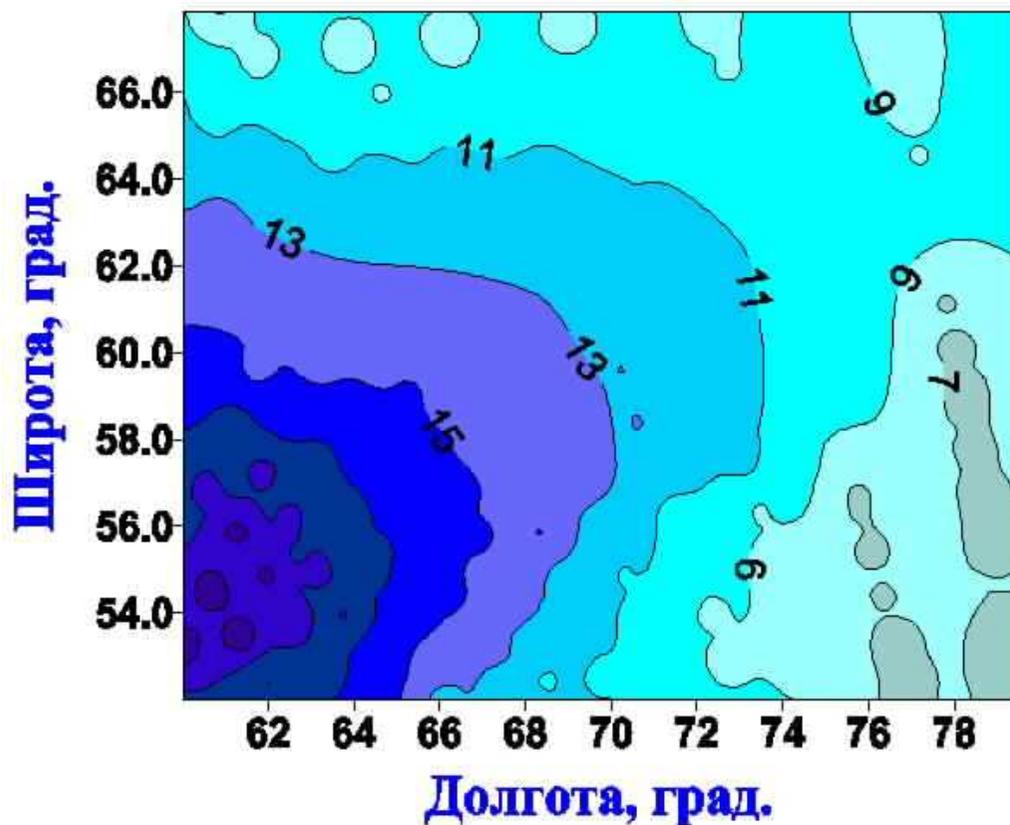
Вертикальные
профили
температуры
и влажности,
общее
содержание
озона и
водяного
пара

The
International
АТОВС
Processing
Package
(IAPP)

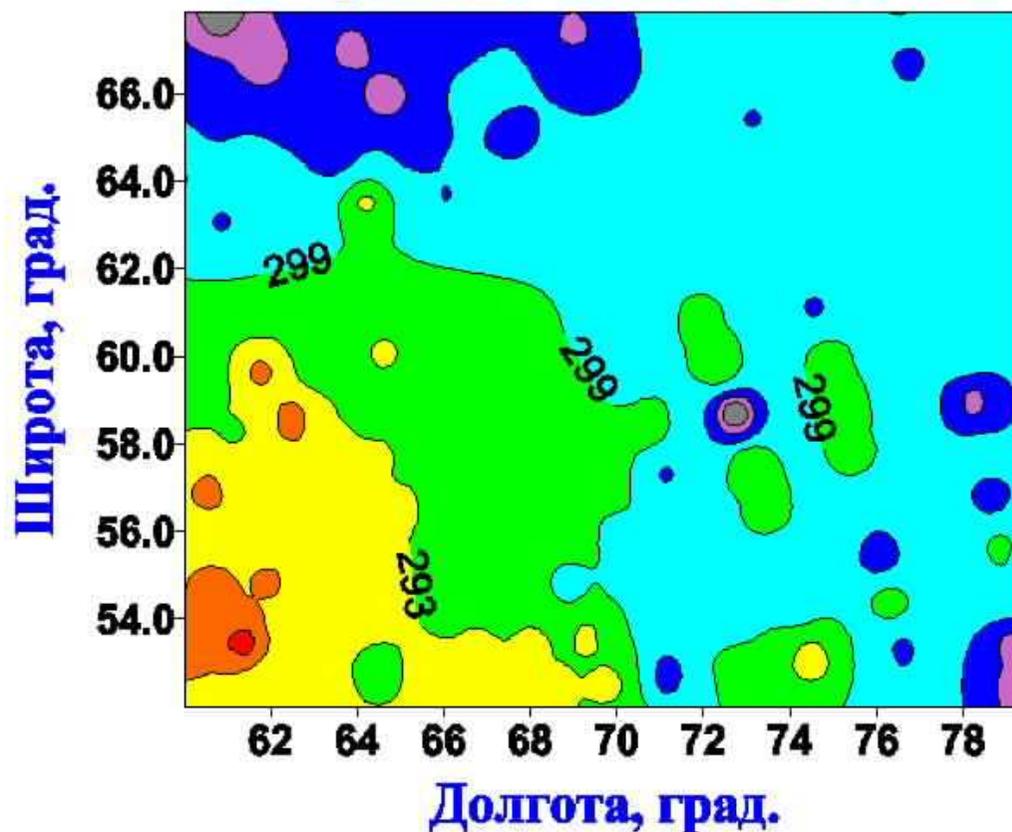
Априорные данные

Topography	
Radiosonde data (SRX)	ftp://ftp.ssec.wisc.edu/pub/ssec/halw/
Numerical Model Data (GRIB)	ftp://ftp.ssec.wisc.edu/pub/ssec/halw/grids/
Surface Data (METAR)	ftp://ftp.ssec.wisc.edu/pub/ssec/halw/surface/

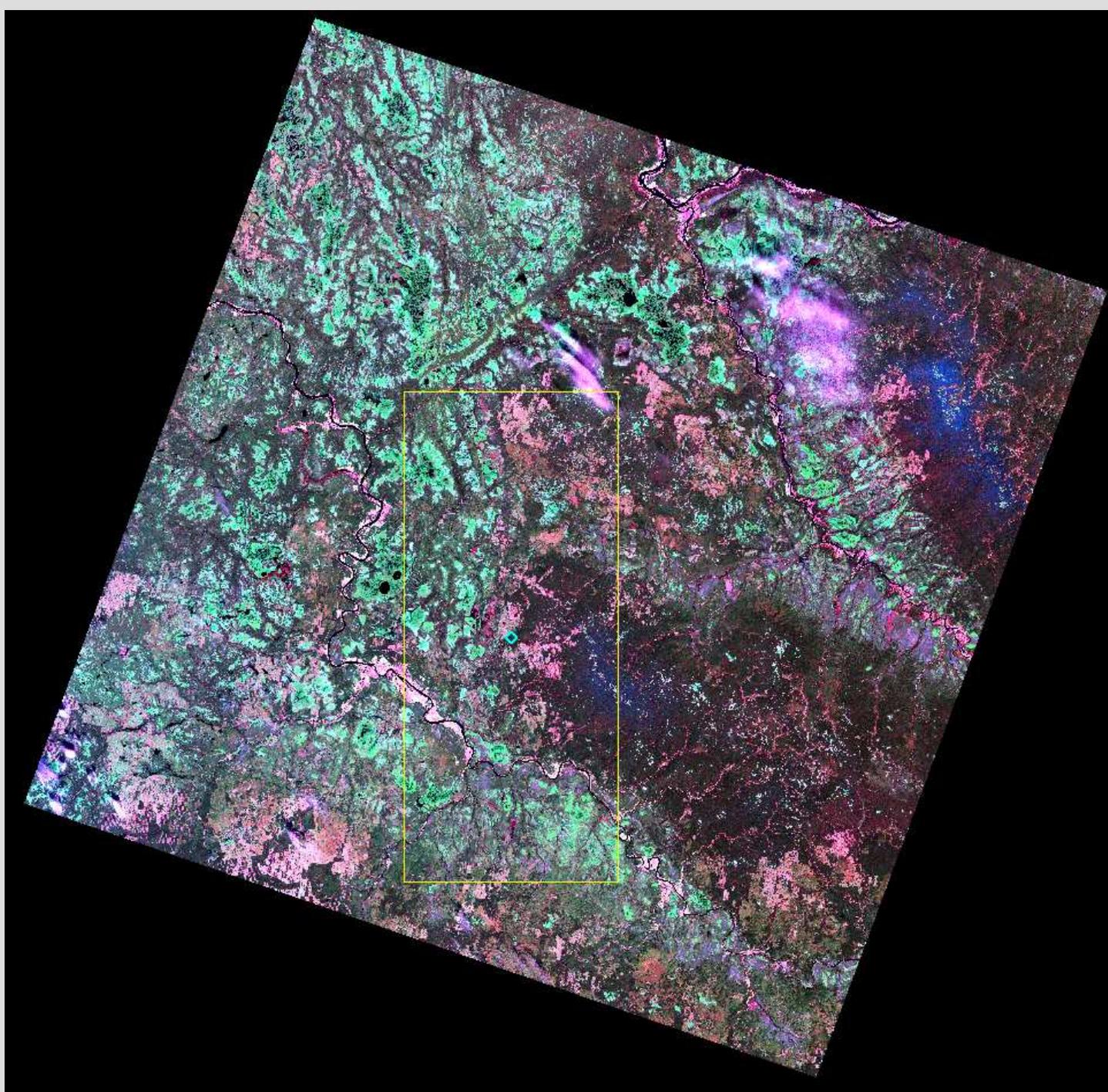
Общее влагосодержание, мм



Содержание озона, ед.Добсона

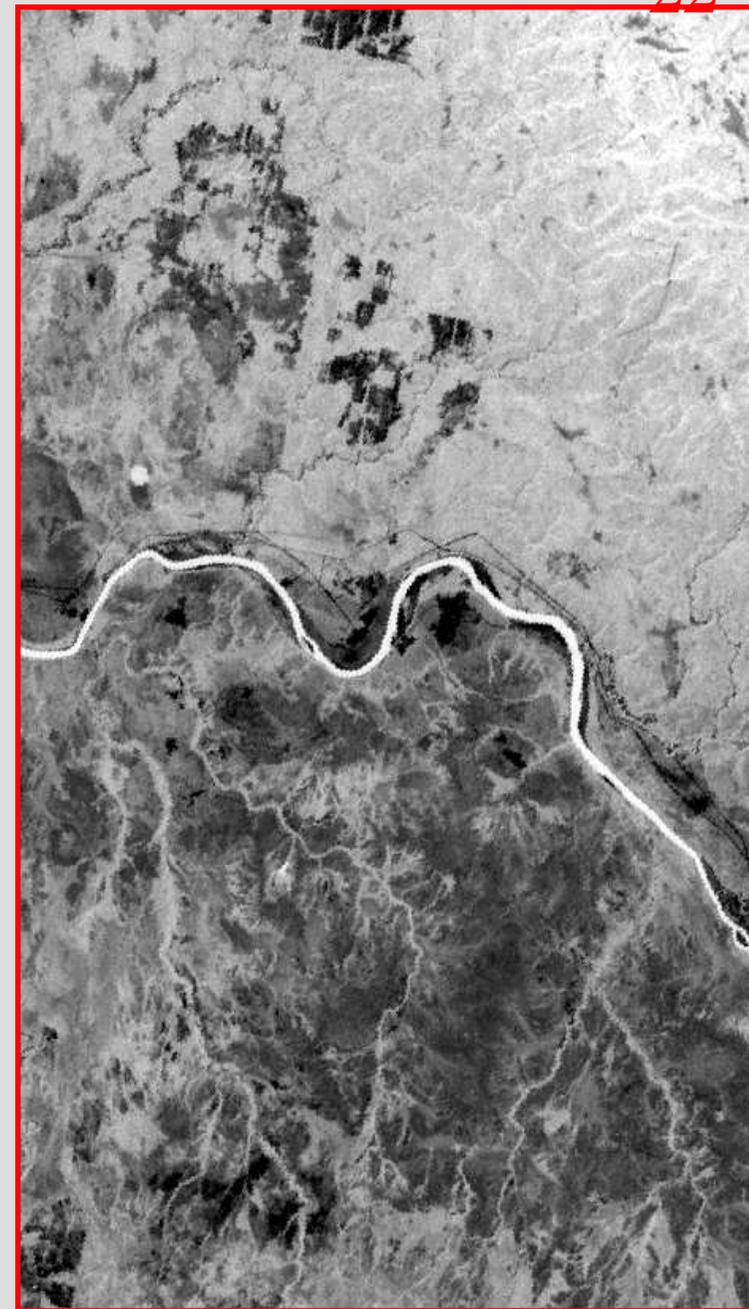
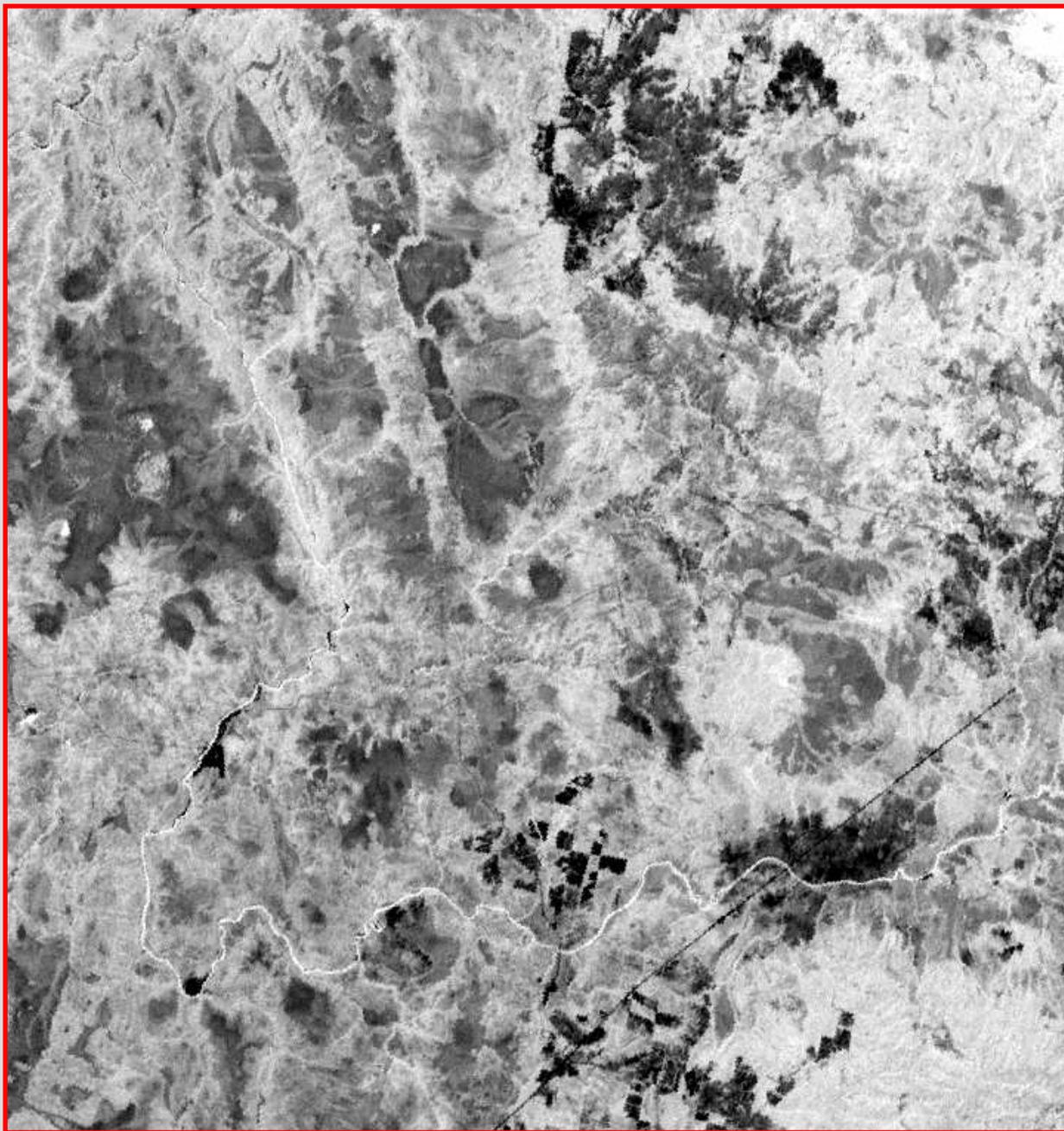


**Результаты работы программного комплекса ATOVS:
обработка данных спутника NOAA-18; 23.10.2006 г.**

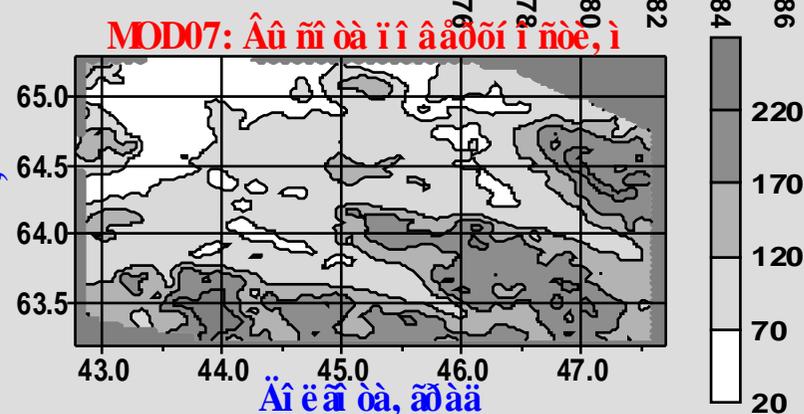
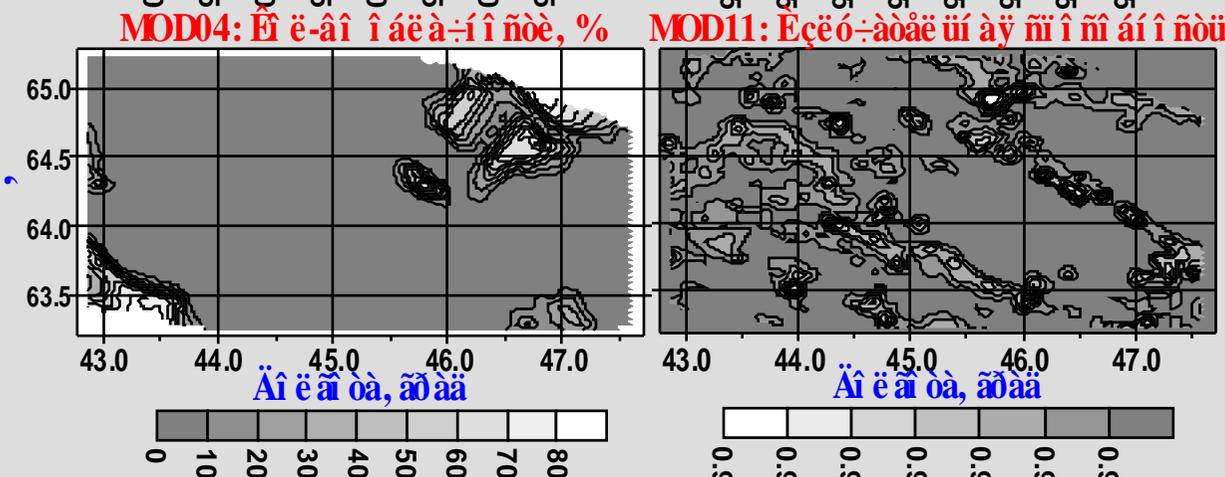
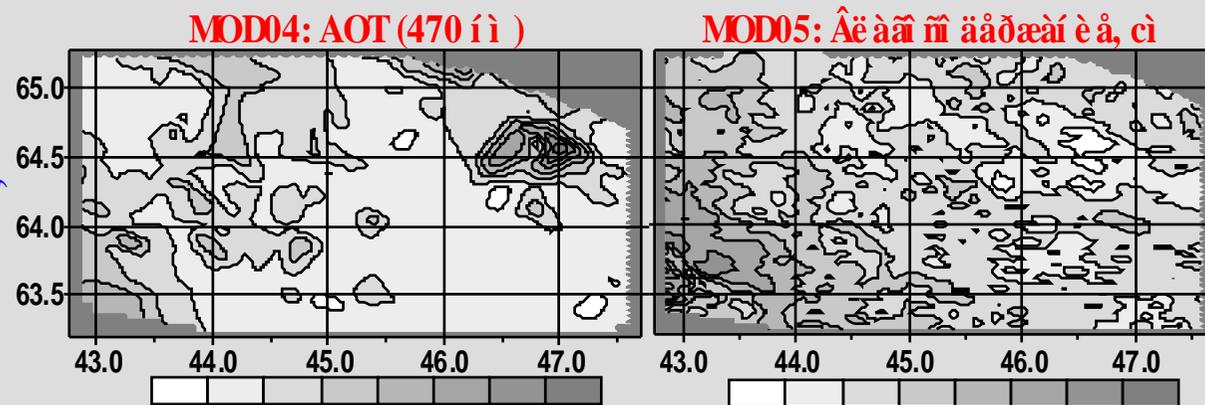


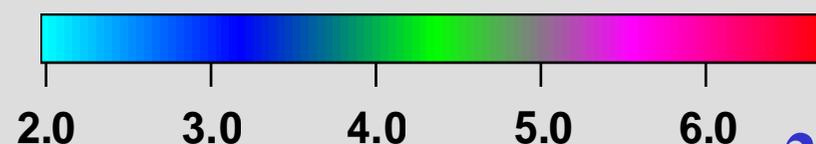
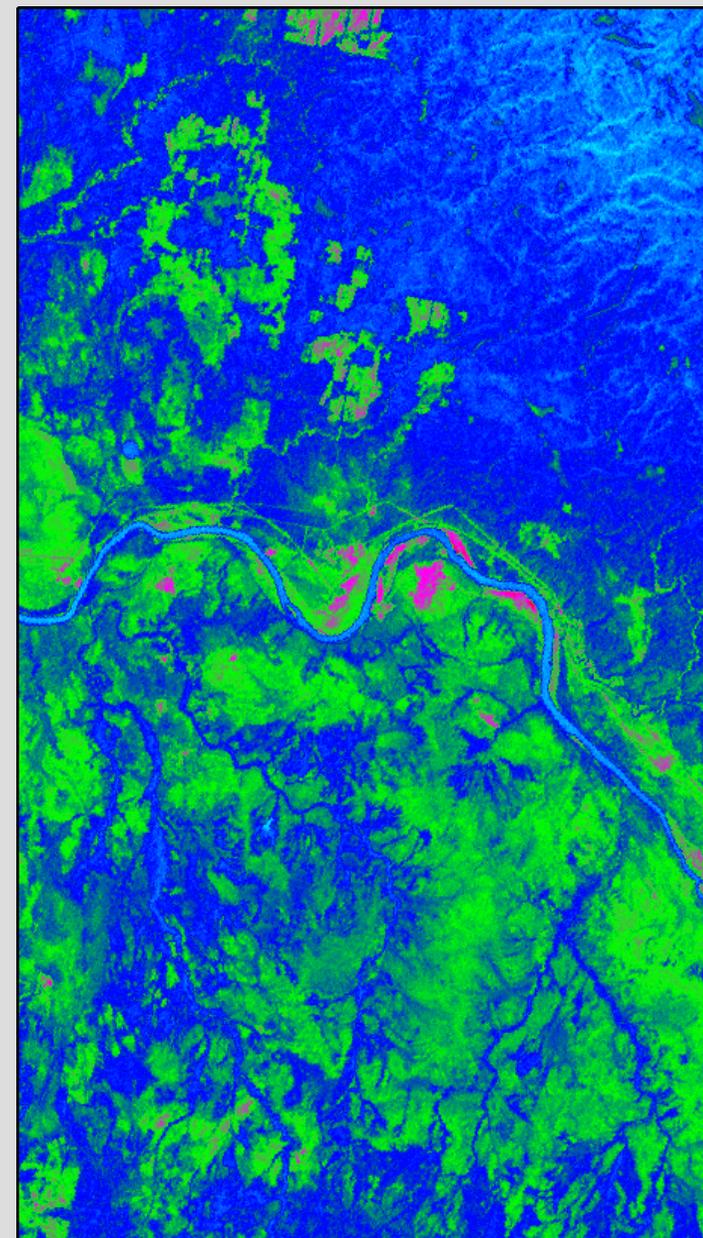
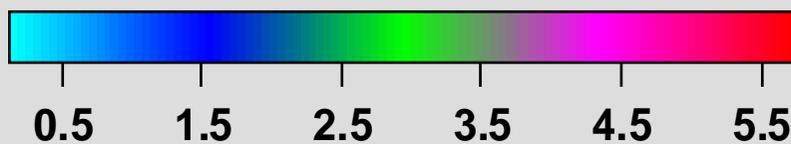
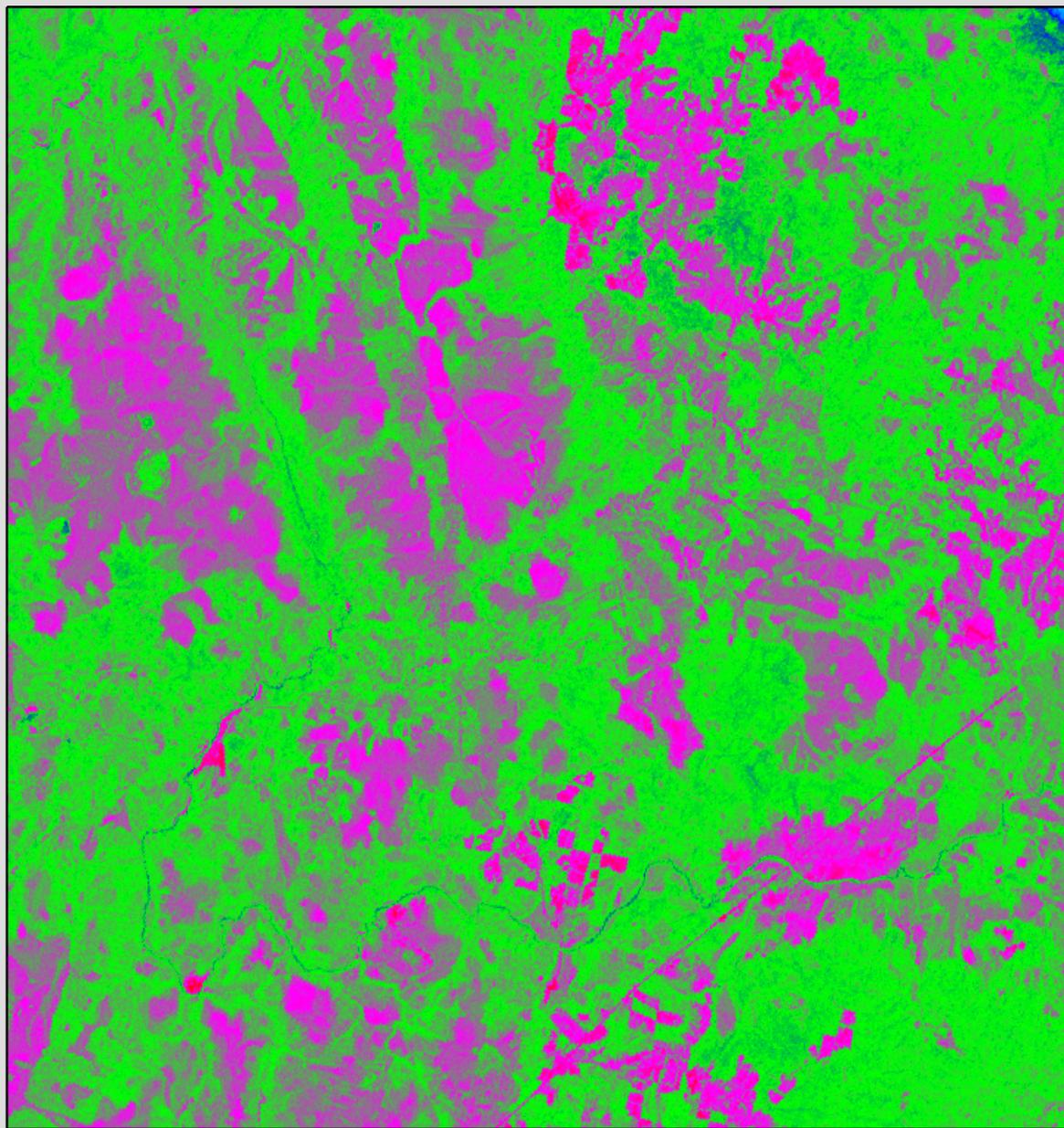
21

RGB-изображение (каналы 7,4,2) для снимка p177r015_7k20020601_z38; желтый прямоугольник – участок III, где были восстановлены значения ТШ.



**ИК-изображения двух выделенных на снимке участков (№1 и №2);
6-ой канал (10.3-12.4 мкм) прибора ETM+/ Landsat-7 (Low gain).**



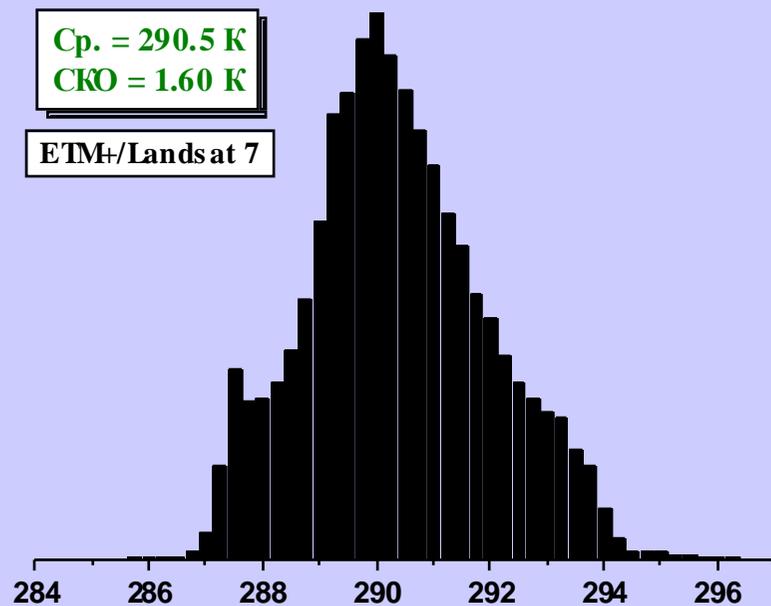


Пространственное распределение температурной поправки ($T_S - T_\lambda$)

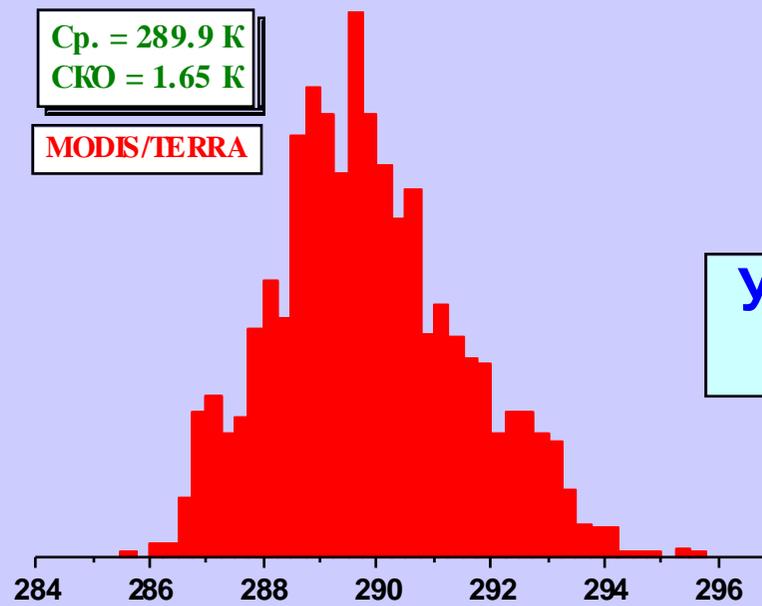
Статистические данные для измеренной радиационной температуры T_λ и температуры T_S , восстановленной после атмосферной коррекции

Участки	T_λ		T_S		$T_S - T_\lambda$	
Режим - Low gain						
№ 1	287.04	2.18	290.44	2.63	3.39	0.46
	272.83	298.52	272.95	304.28	0.12	5.76
№ 2	288.42	2.95	291.99	3.46	3.57	0.54
	280.14	301.48	282.12	308.22	1.98	6.74
Режим - High gain						
№ 1	287.05	2.17	290.46	2.62	3.40	0.46
	273.15	298.79	273.36	304.53	0.20	5.76
№ 2	288.43	2.94	291.99	3.44	3.57	0.53
	280.23	301.26	282.24	307.94	2.01	6.69

В первой строке таблицы – среднее значение и СКО температур; во второй строке – минимальное и максимальное значение температур.

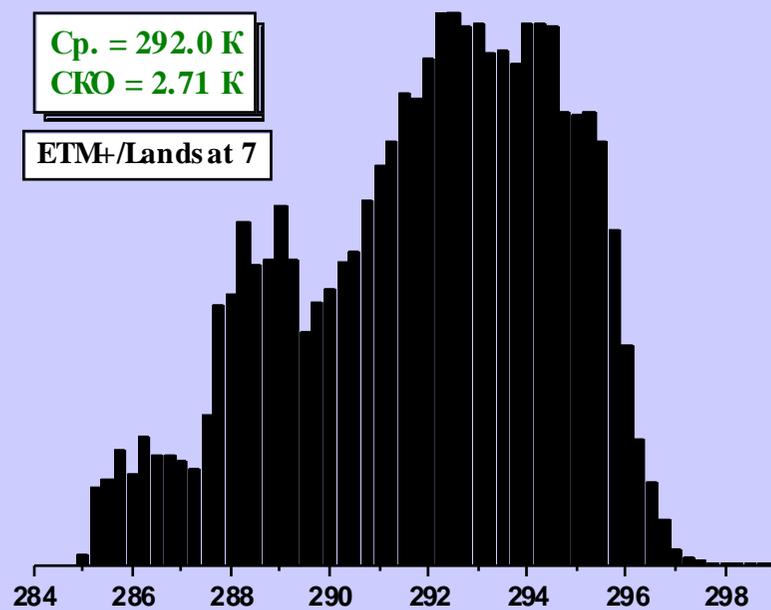


Температура по поверхности, К

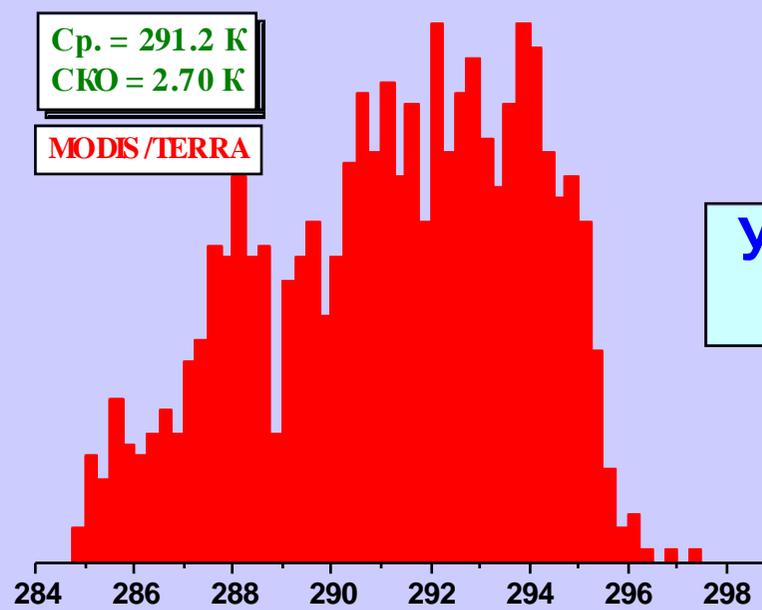


Температура по поверхности, К

Участок
№ 1



Температура поверхности, К



Температура по поверхности, К

Участок
№ 2

Статистические характеристики значений ТПЗ, восстановленных по
 данным ETM+/Lansat-7 и MODIS/Terra



Благодарю за внимание!