

# **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](mailto:belov@iao.ru)***

## Основная цель работы:

**создание простого и удобного в применении, быстродействующего 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](http://www.rese.ch/atcor/atcor3/atcor2_method.html)

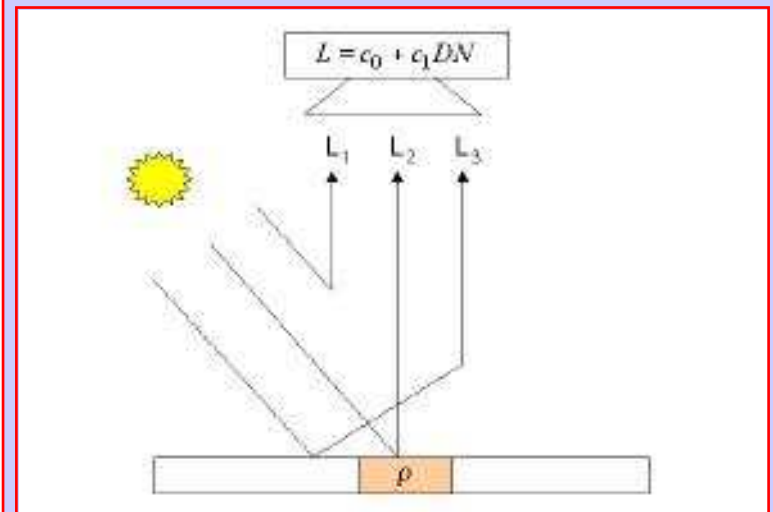
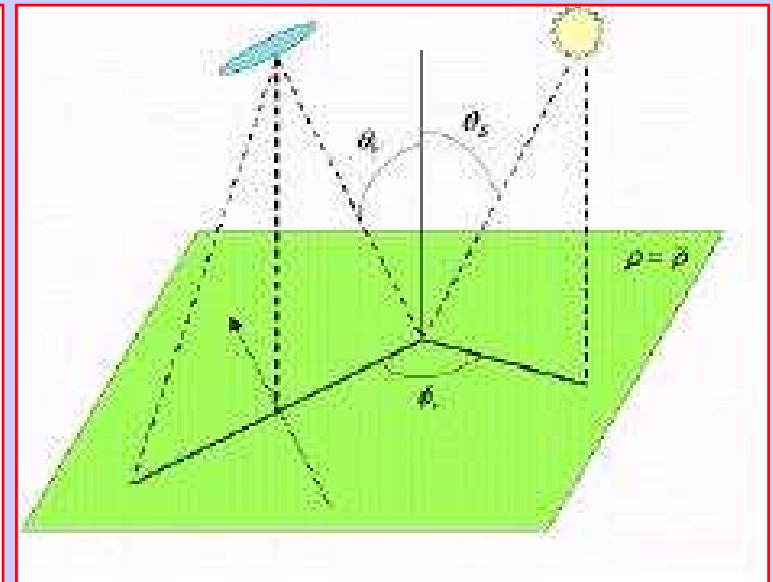
## Источники априорной информации:

- 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  $\rho$  ;
- $L_p$  path radiance ;
- $\tau_v$  total ground-to-sensor atmospheric transmittance, sum of direct  $\tau_{dir}$  and diffuse  $\tau_{dif}$  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  $\rho = 0$  ;
- $\rho_r$  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

$B_{\lambda}$  – функция Планка

$T_{\lambda}$  – радиационная температура, эквивалентная  $I_{\lambda}$

$I_{\text{SRF}}$  – ослабленное атмосферой излучение ПП

$I_{\text{ATM}}$  – тепловое излучение атмосферы

$I_{\text{RFL}}$  – отраженный от ПП падающий поток излучения

$I_{\text{SCT}}$  – рассеянное атмосферой излучение

# Ослабленное атмосферой излучение ПП ( $I_{\text{SRF}}$ )

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

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

где

$P_{\lambda}$  – функция пропускания атмосферы

$\tau_{\lambda}$  – оптическая толщина атмосферы

$\theta$  – угол наблюдения (наклона оси прибора)

$T_S$  – температура подстилающей поверхности (ТПП)

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



# Атмосферная коррекция ИК-изображений ПП

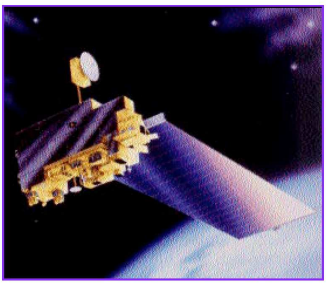
Дано  $I_\lambda(x,y)$ ;  $B_\lambda[T_S(x,y)]$  и  $T_S(x,y) = ?$

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  $\epsilon_\lambda^S$
- Геометрические параметры спутниковых измерений: угол наблюдения  $\theta$ , зенитный угол Солнца  $Z$ , относительный азимут наблюдений  $\varphi$



EOS AM spacecraft

# Общая блок-схема атмосферной коррекции

Спутниковая система EOS/MODIS

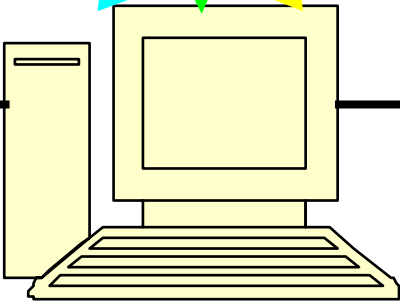
Спектральные каналы измерения метеопараметров атмосферы

Спектральные каналы измерения параметров подстилающей поверхности

Спектральные каналы измерения параметров атмосферного аэрозоля

Программный блок «МЕТЕО»

Программный блок «АЭРОЗОЛЬ»



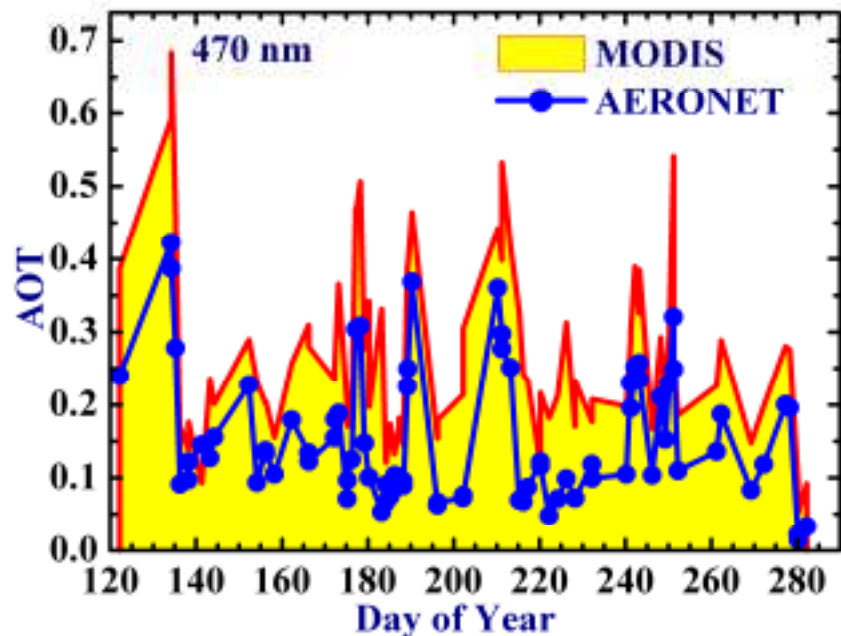
Априорная информация для блока атмосферной коррекции:  
вертикальные профили температуры и влажности воздуха, общее содержание водяного пара и озона

Априорная информация для блока атмосферной коррекции:  
оптические характеристики атмосферного аэрозоля

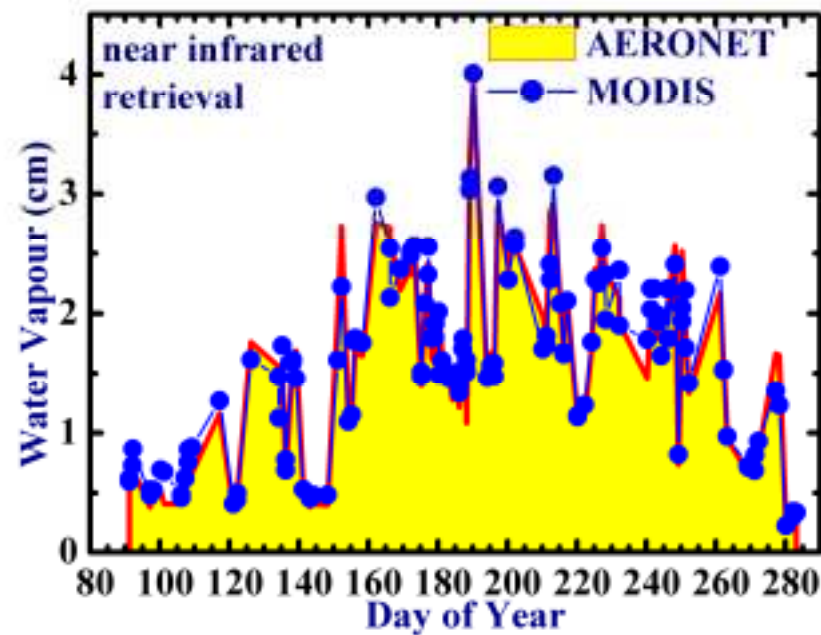
Программный блок «Атмосферная коррекция»

Априорная информация:  
Излучательная способность ПП

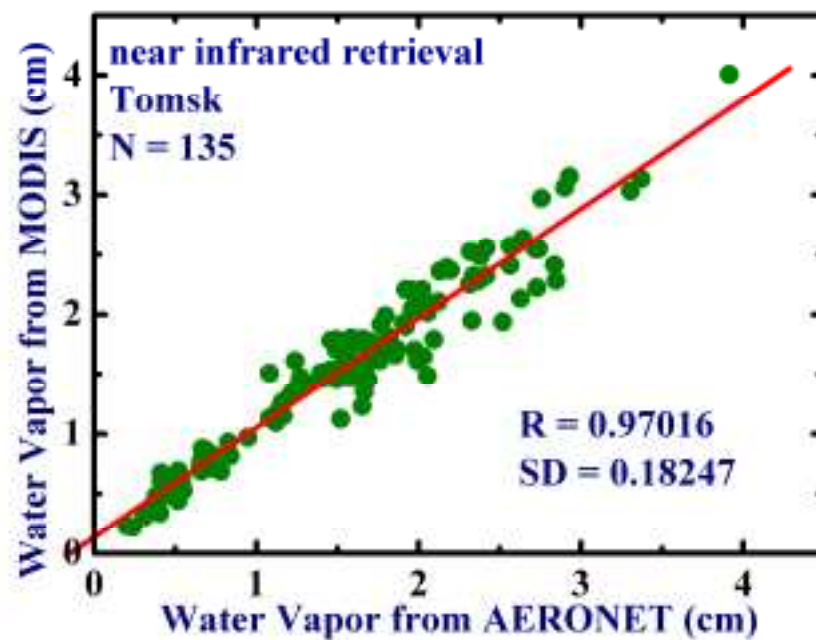
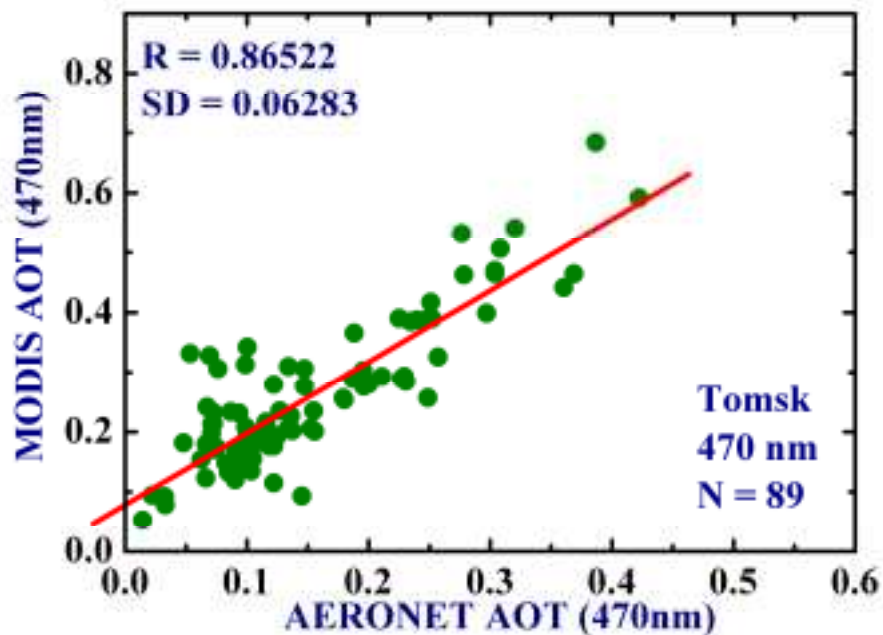
Спектральные отражательные способности (0.66 мкм, 0.86 мкм, 2.1 мкм)  
температура подстилающей поверхности (3.96 мкм, 11 мкм, 12 мкм)



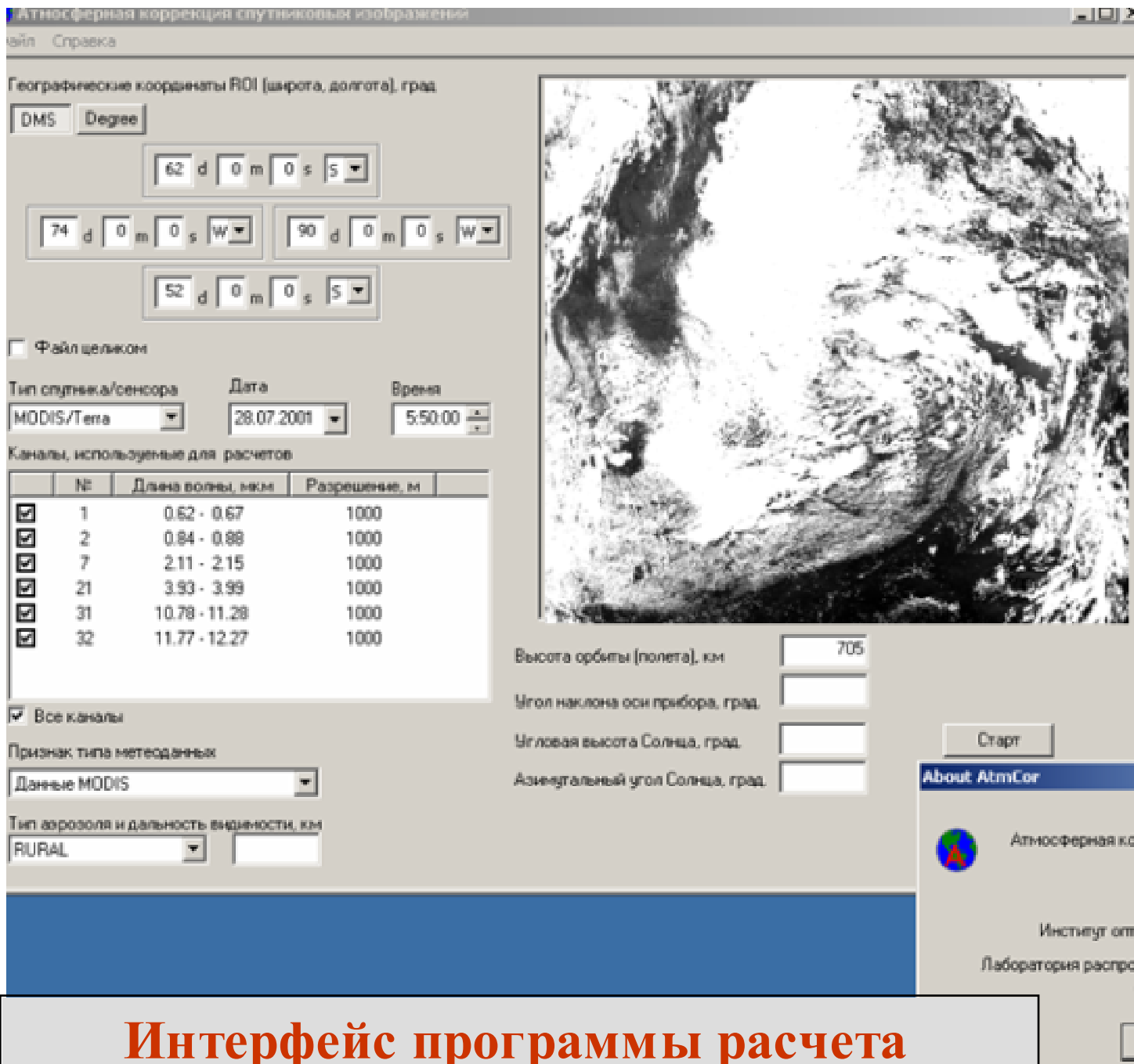
$$Y=0.07845+1.19323*X$$



$$Y=0.13772+0.91465*X$$

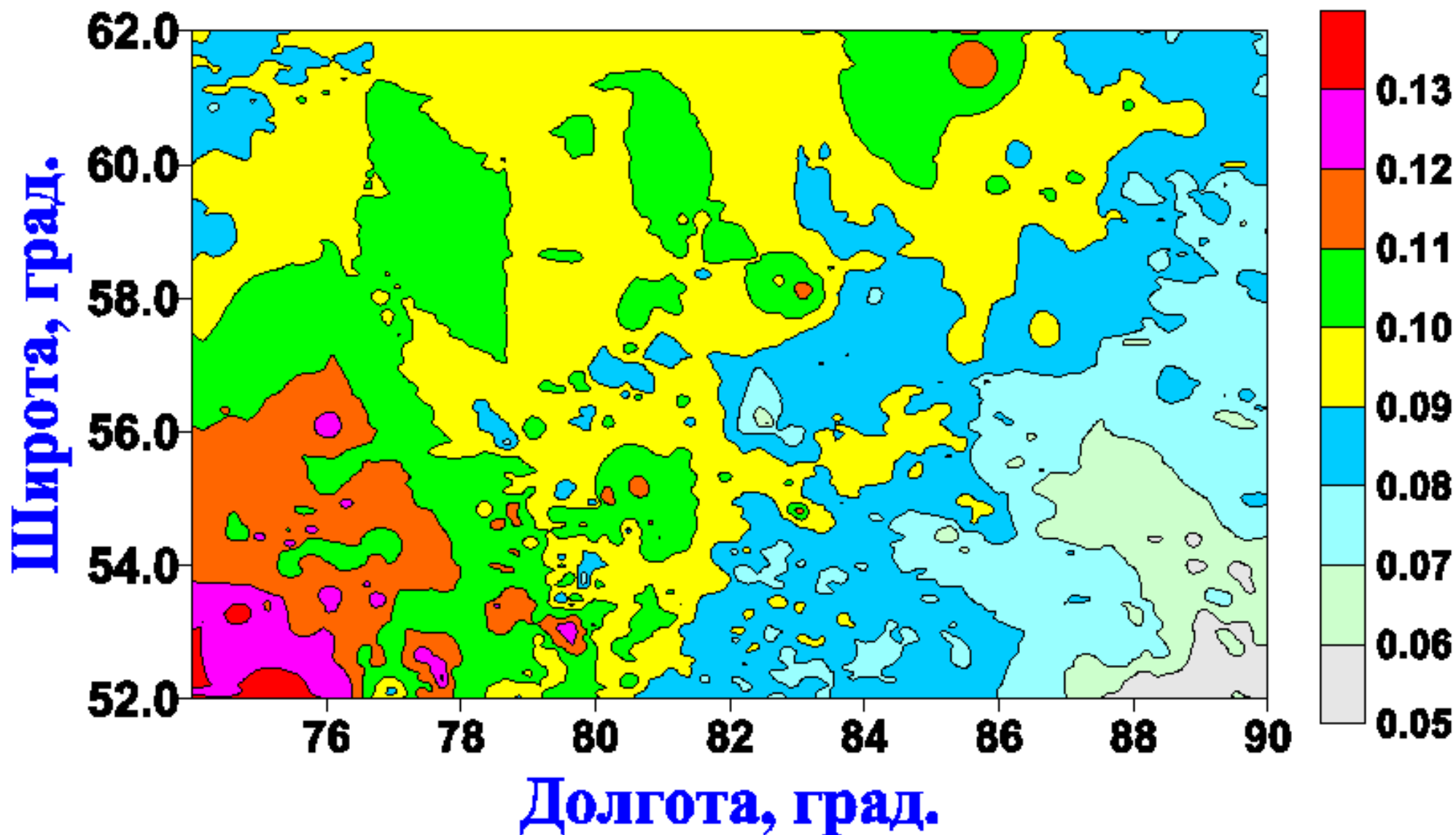


Результаты валидации спутниковых данных MOD04 и MOD05  
(Томск, 2003 год).

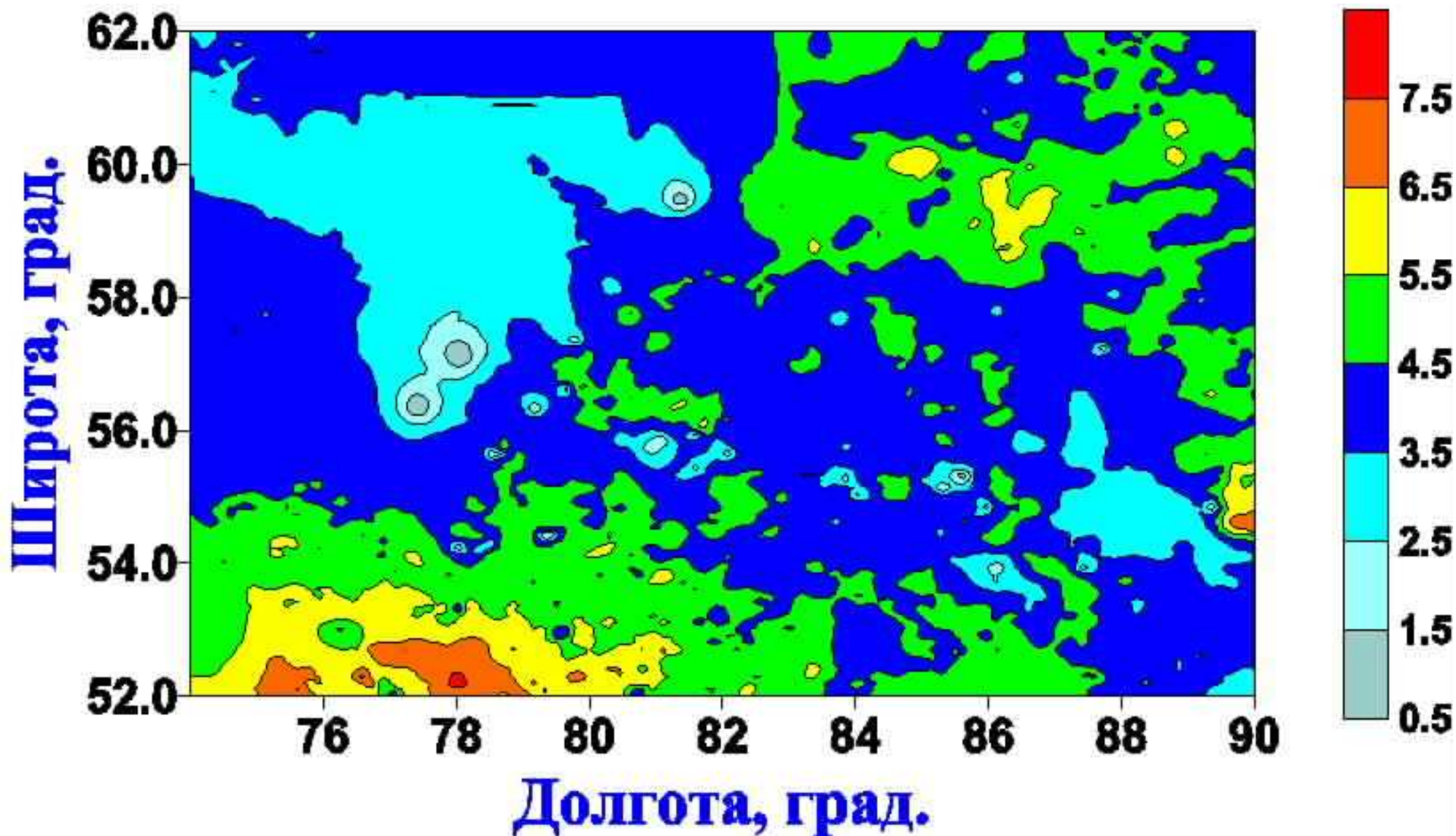


**АОТ (466 нм):**  
**Среднее = 0.313**  
**СКО = 0.108**  
**АОТ=0.036 - 0.749**

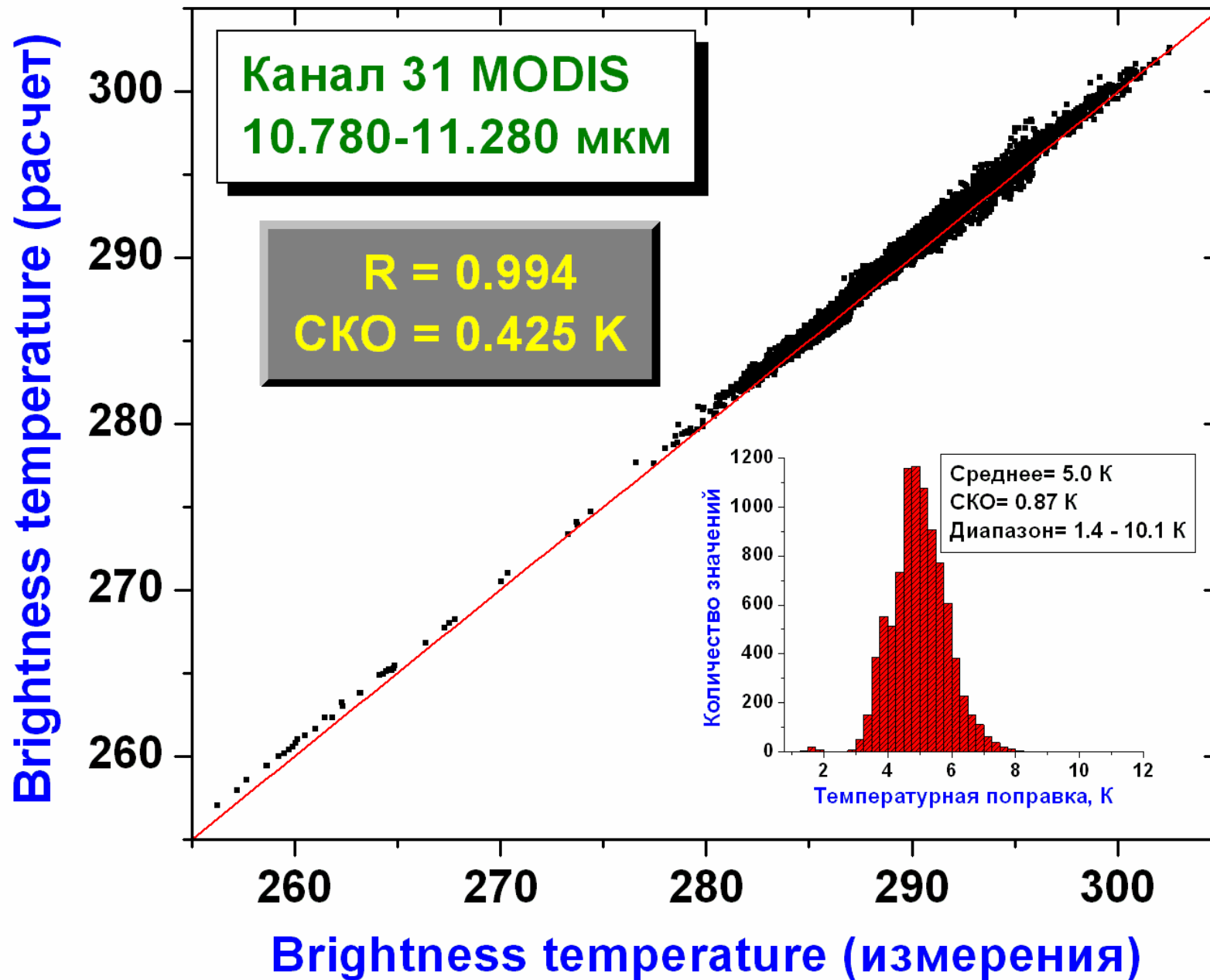
**Интерфейс программы расчета характеристик атмосферного искажения спутниковых изображений**



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

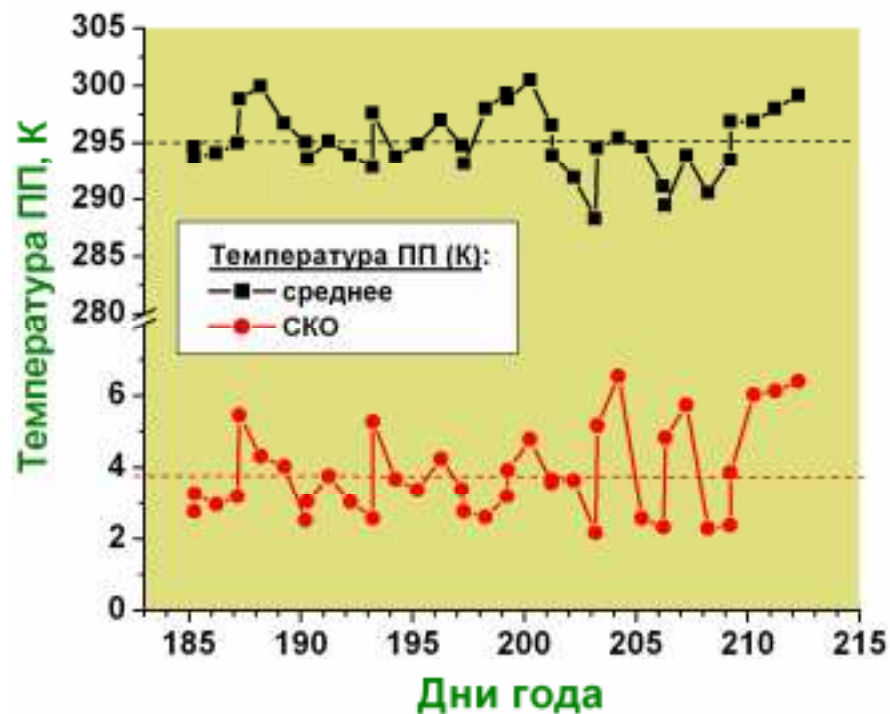
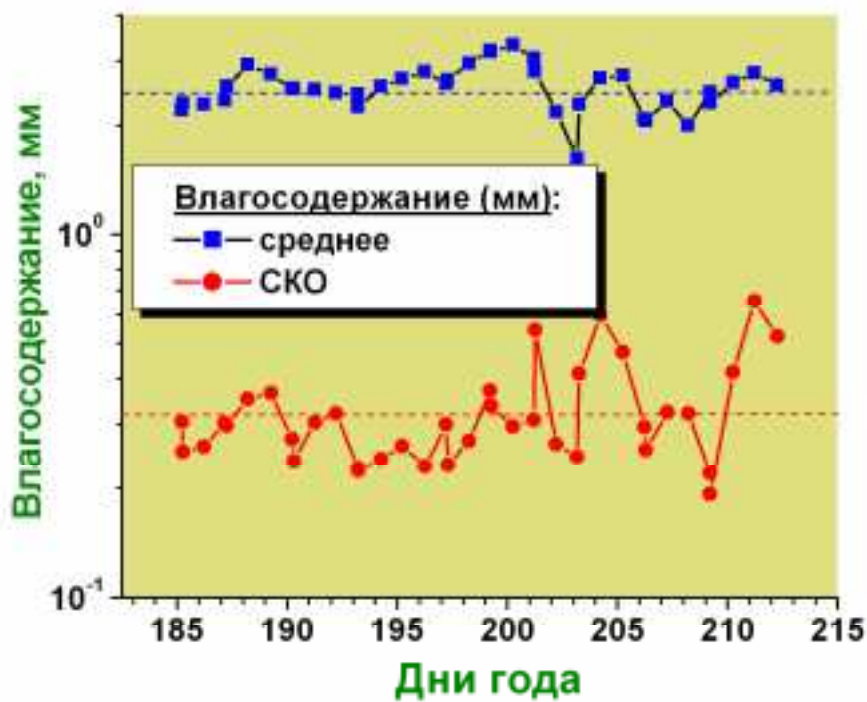
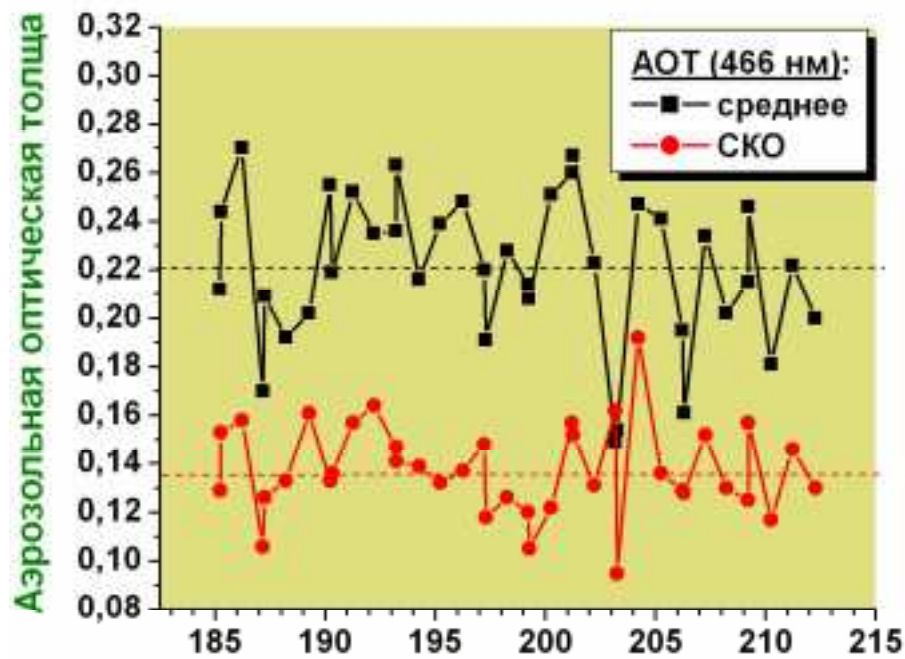


**Пространственное распределение атмосферных температурных поправок:**  
**канал 31 MODIS/Terra ( $\lambda=11$  мкм); 28.07.2001, 05:50 GMT**



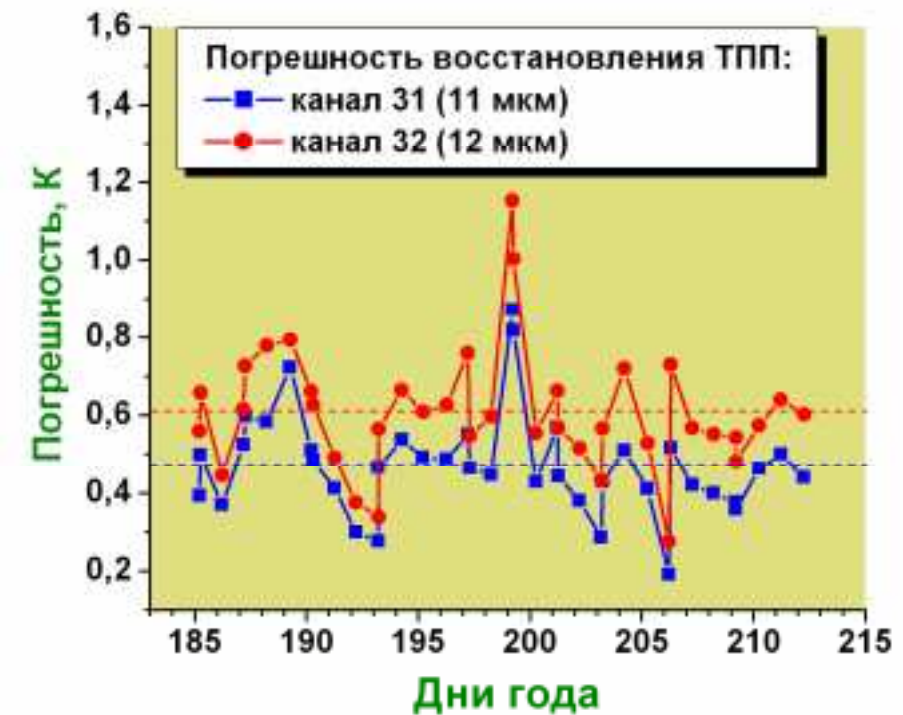
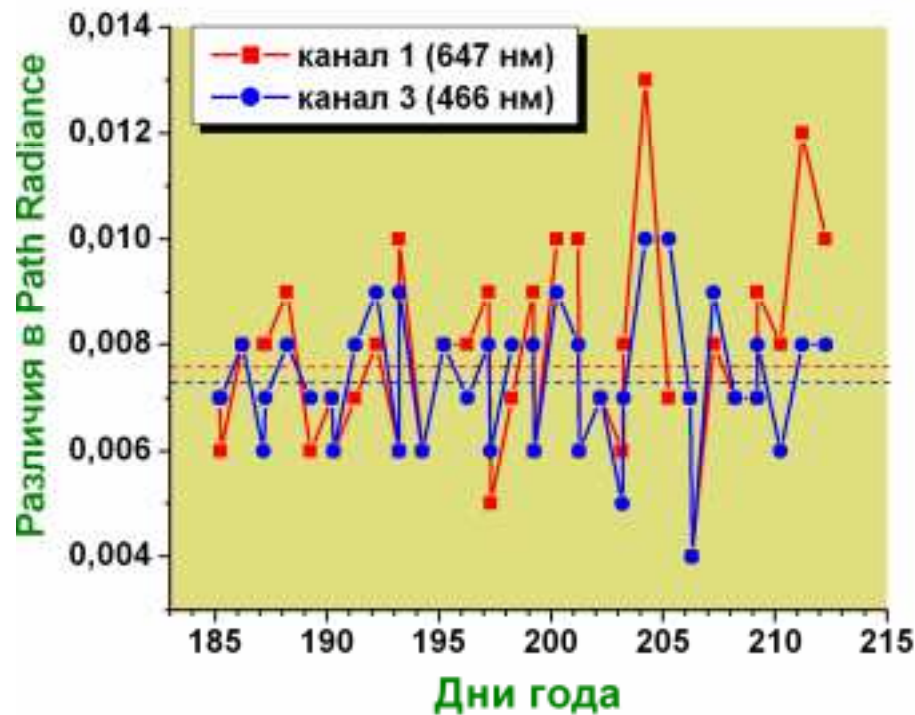
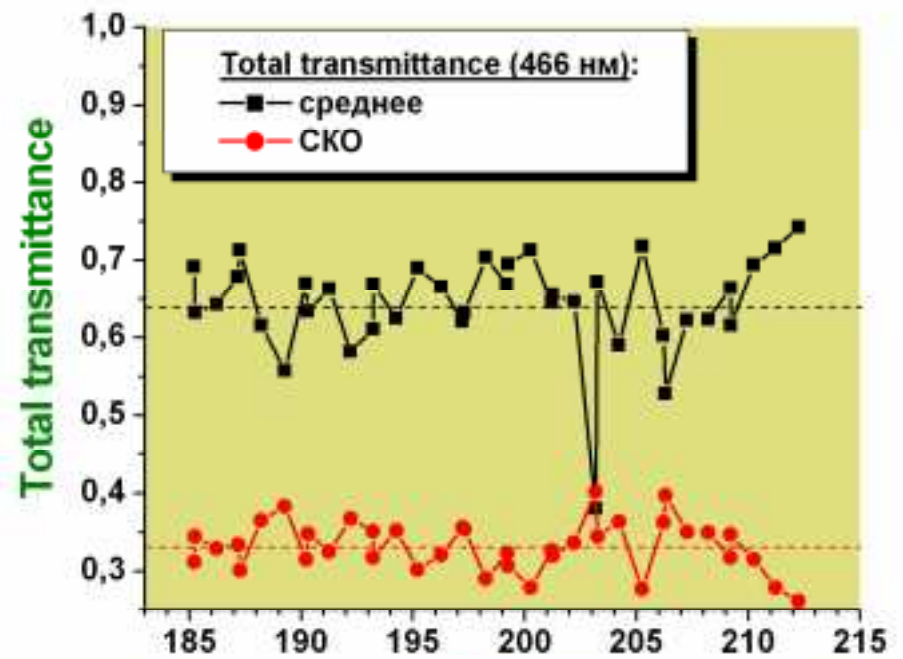
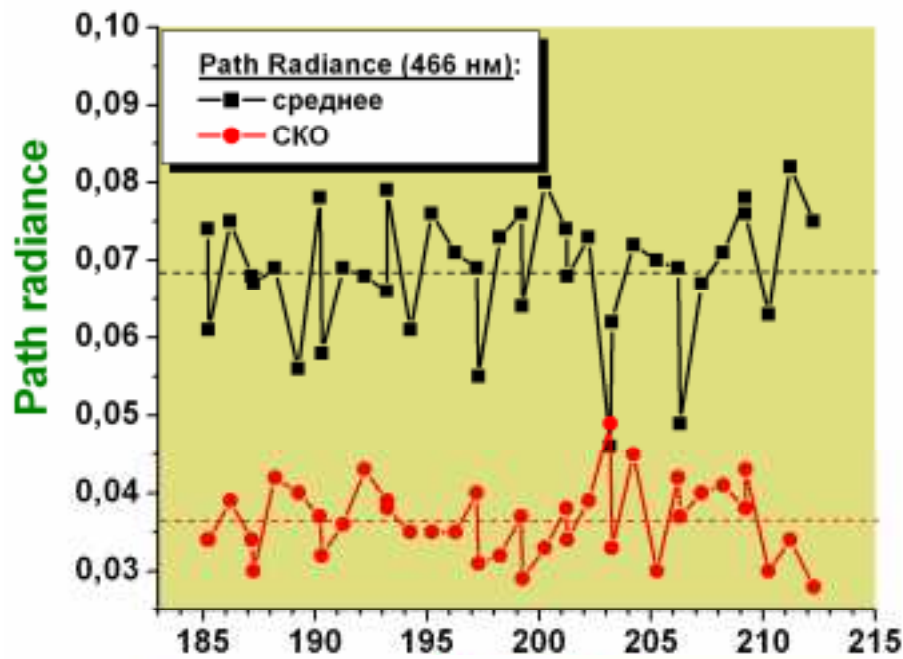
16

**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

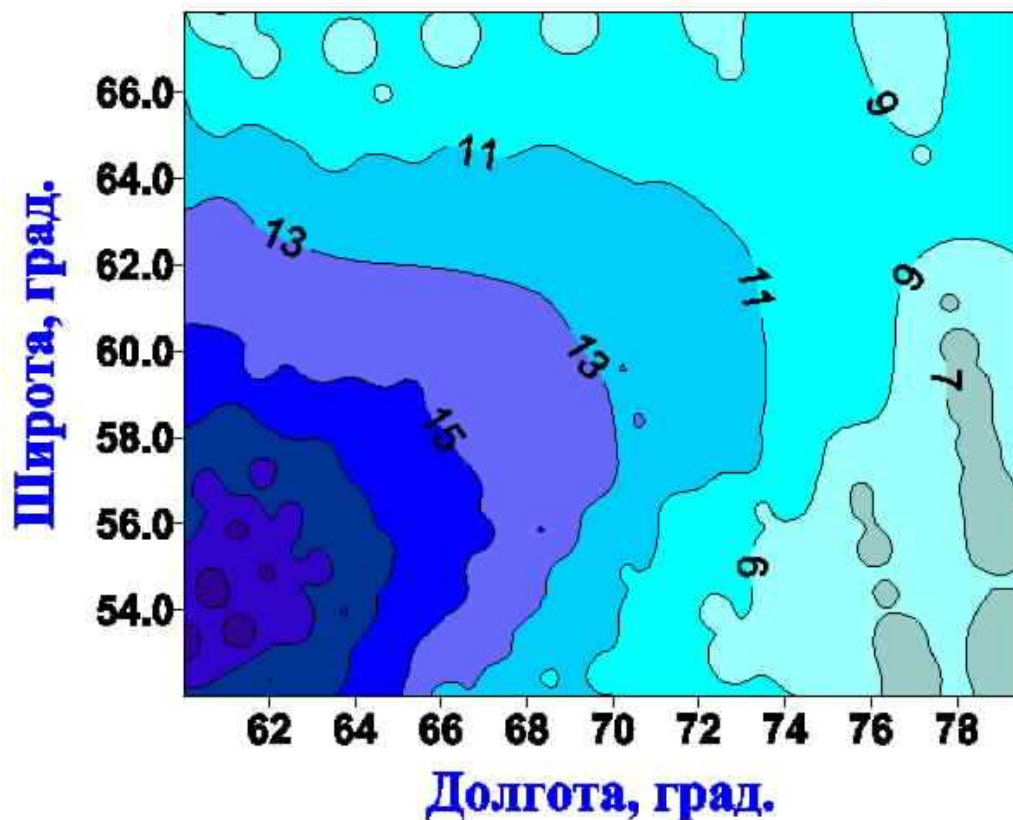
Вертикальные  
профили  
температуры  
и влажности,  
общее  
содержание  
озона и  
водяного  
пара

The  
International  
АТОВС  
Processing  
Package  
(IAPP)

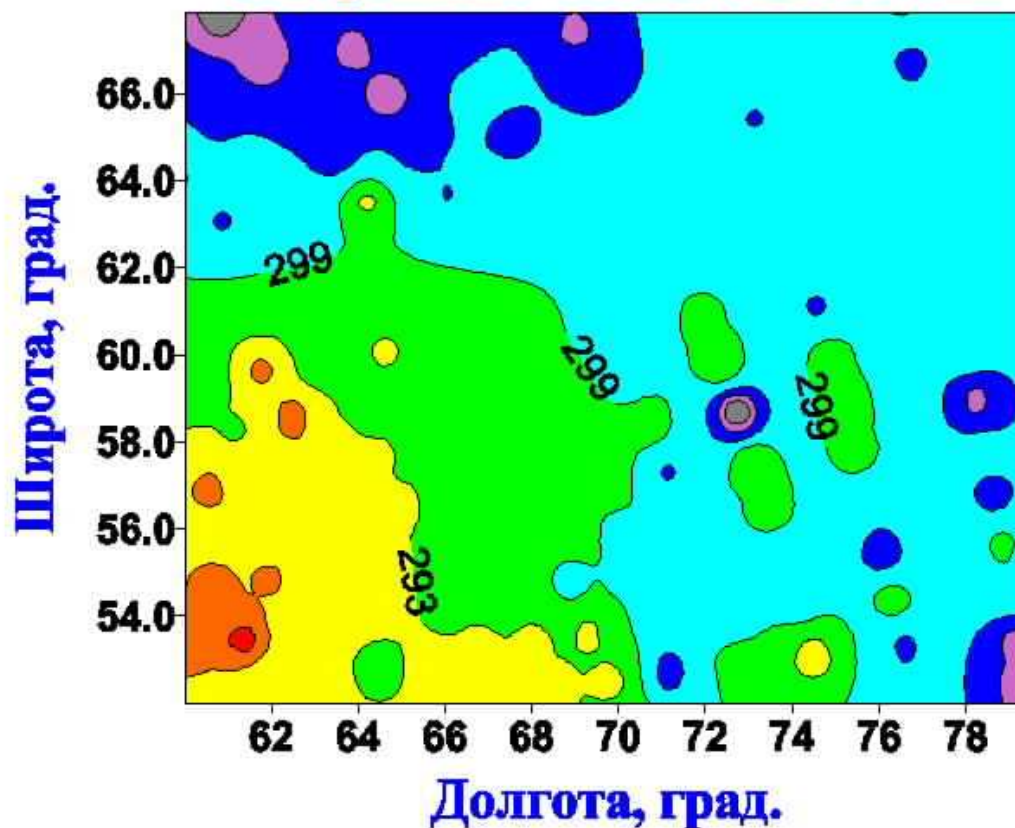
*Априорные данные*

Topography	
Radiosonde data (SRX)	<a href="ftp://ftp.ssec.wisc.edu/pub/ssec/halw/">ftp://ftp.ssec.wisc.edu/pub/ssec/halw/</a>
Numerical Model Data (GRIB)	<a href="ftp://ftp.ssec.wisc.edu/pub/ssec/halw/grids/">ftp://ftp.ssec.wisc.edu/pub/ssec/halw/grids/</a>
Surface Data (METAR)	<a href="ftp://ftp.ssec.wisc.edu/pub/ssec/halw/surface/">ftp://ftp.ssec.wisc.edu/pub/ssec/halw/surface/</a>

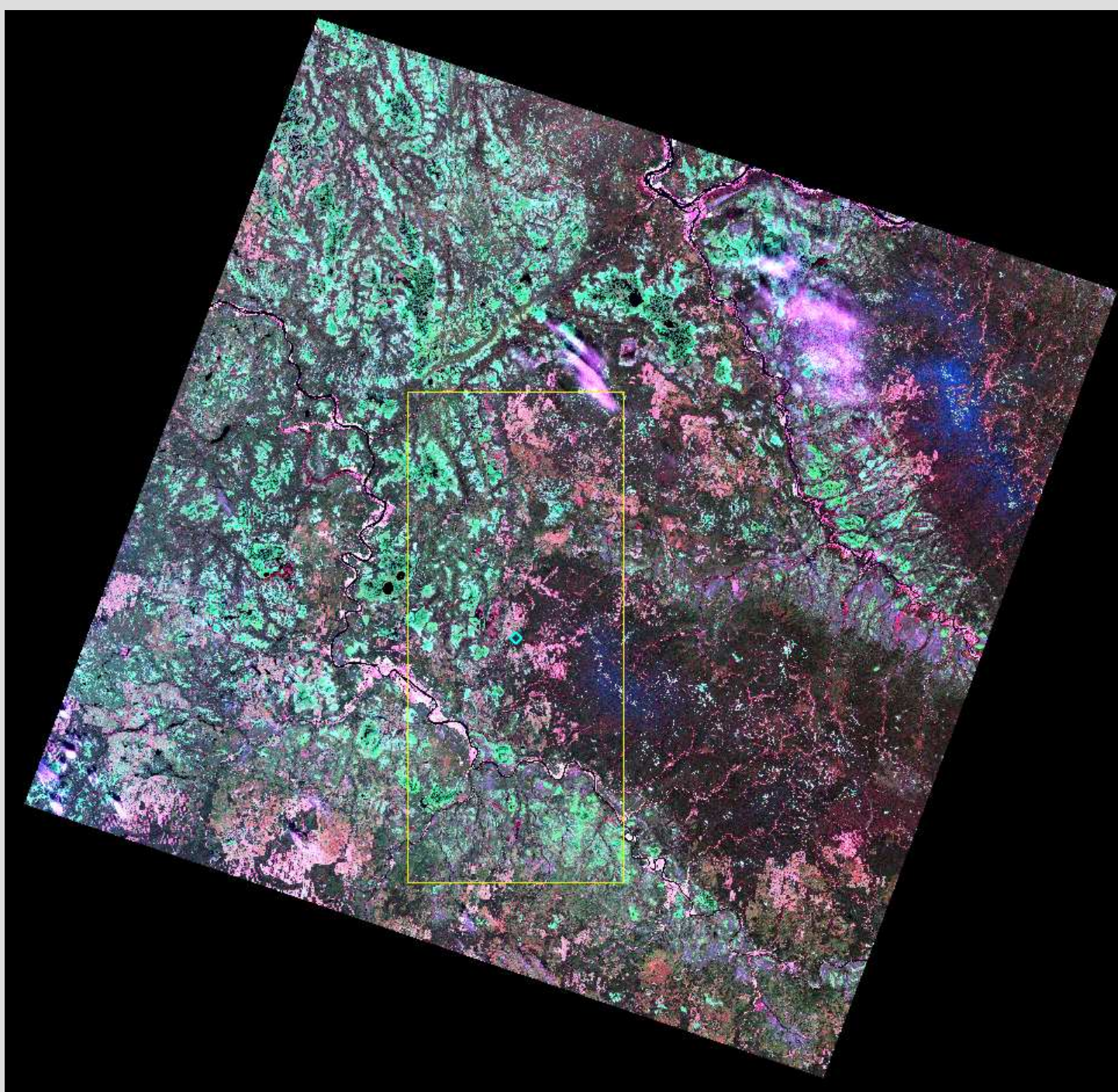
**Общее влагосодержание, мм**



**Содержание озона, ед.Добсона**

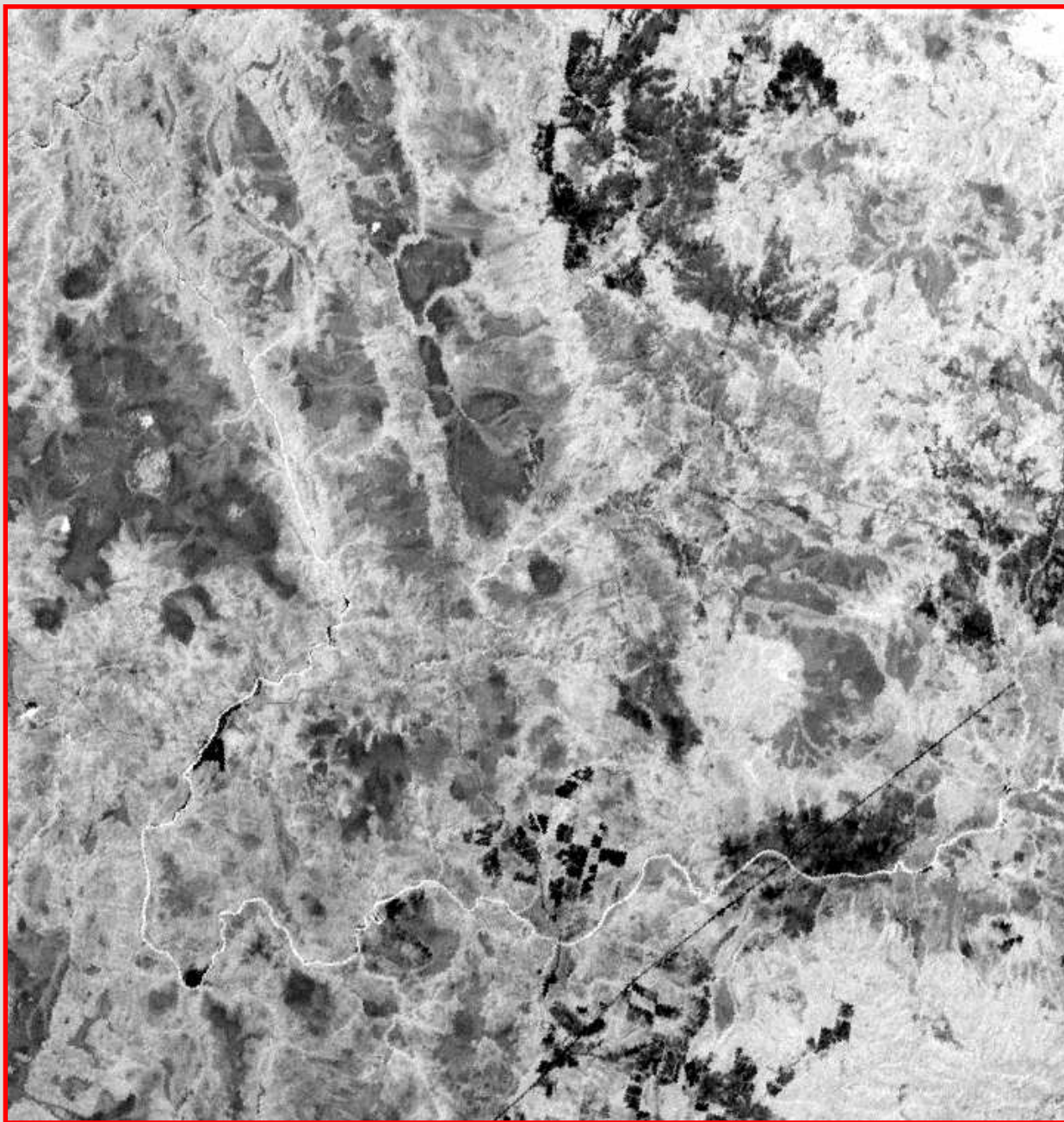


**Результаты работы программного комплекса ATOVS:  
обработка данных спутника NOAA-18; 23.10.2006 г.**

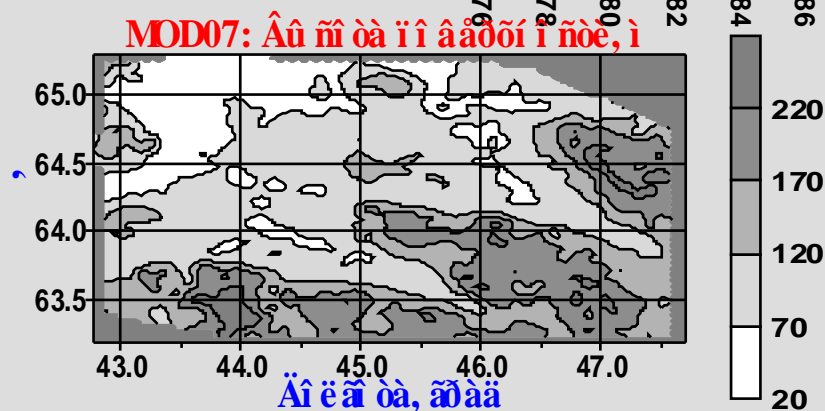
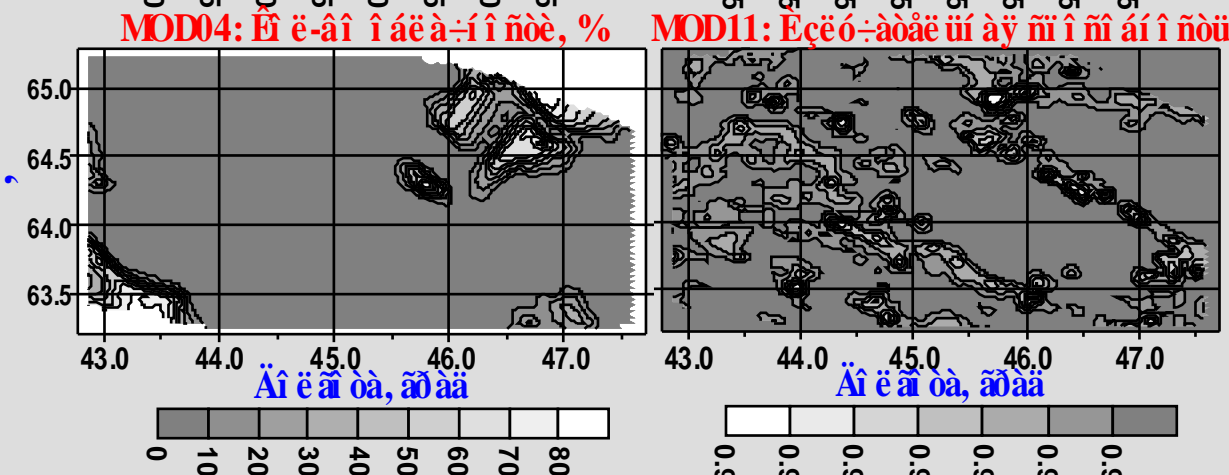
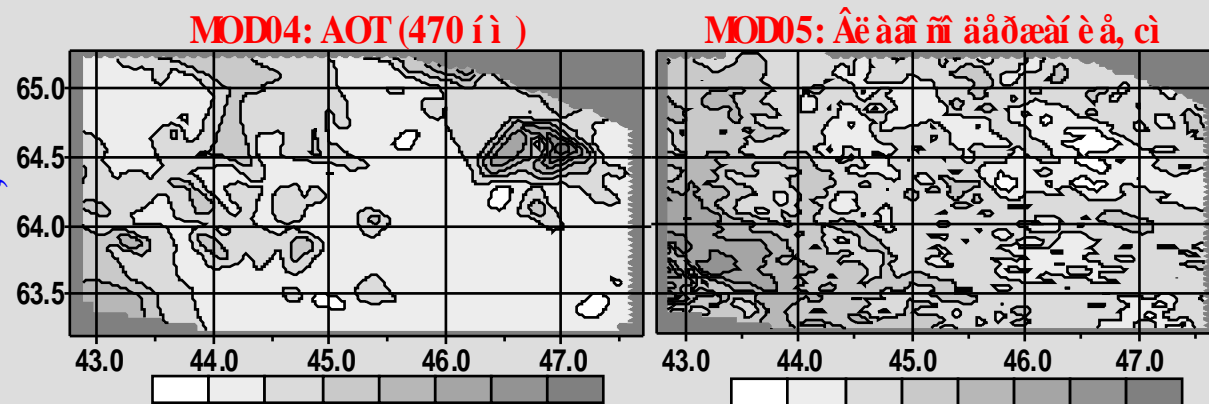


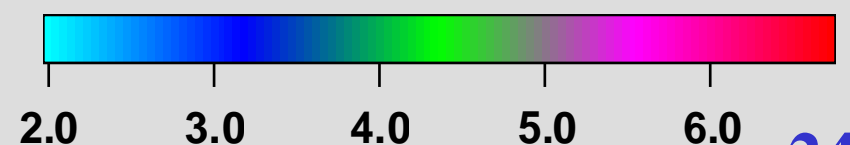
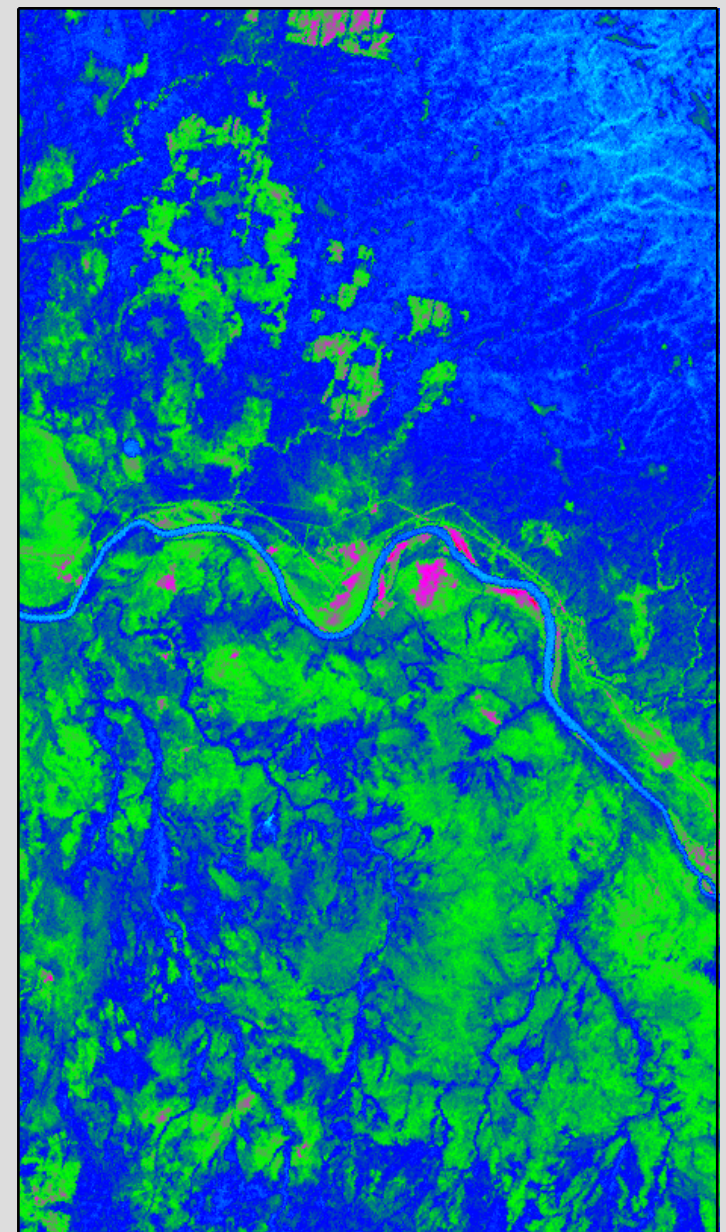
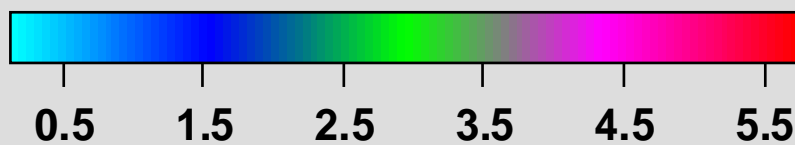
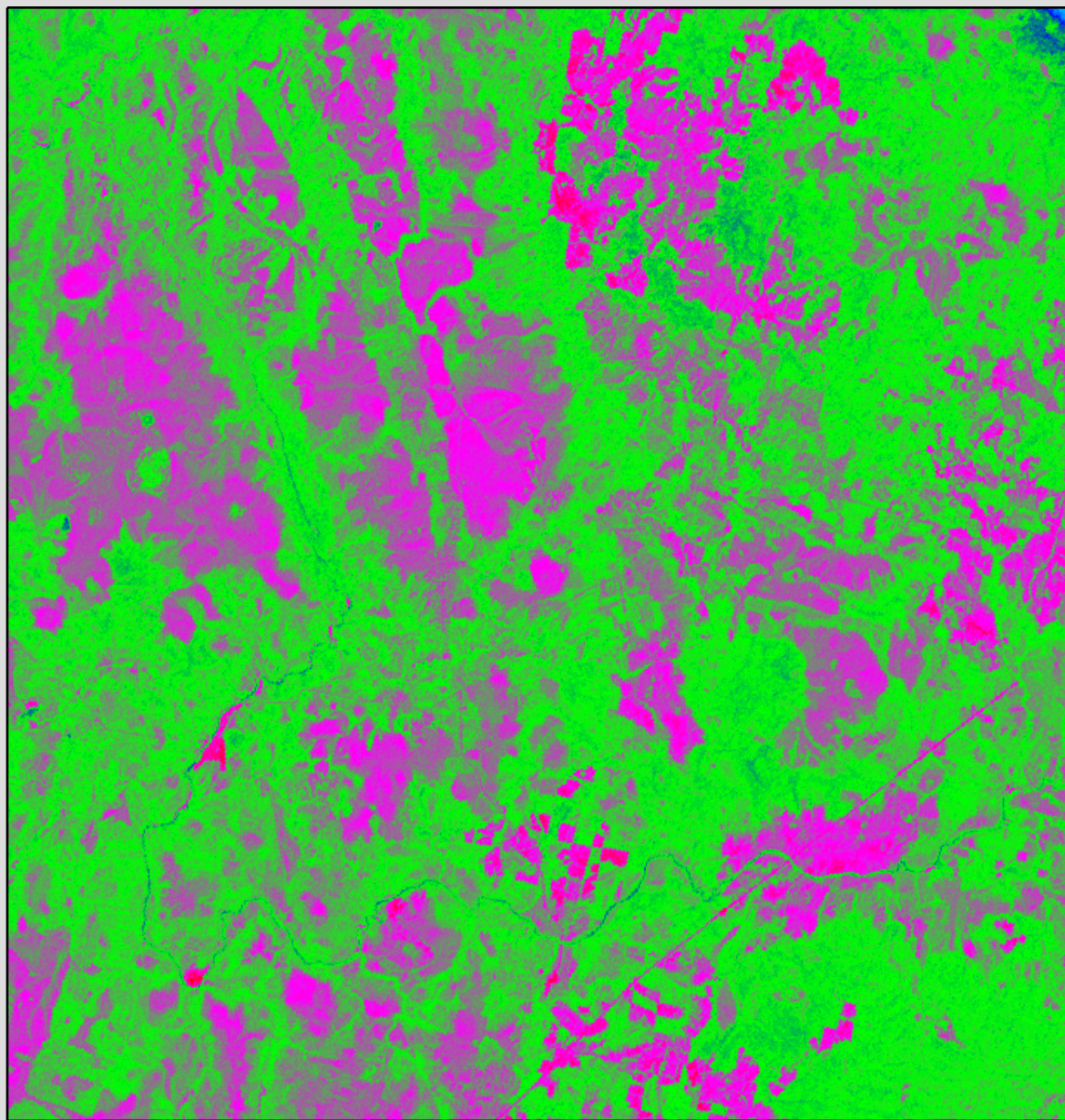
21

**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).**





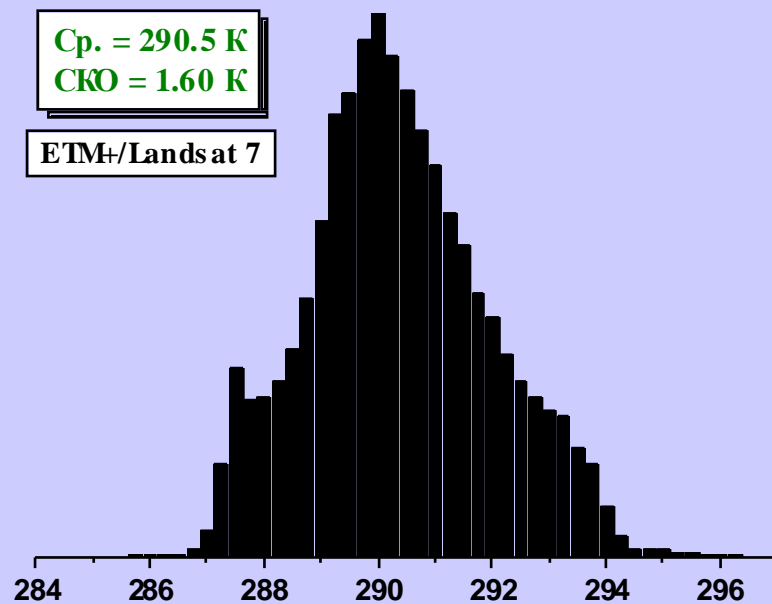
Пространственное распределение температурной поправки ( $T_S - T_\lambda$ )

Статистические данные для измеренной радиационной температуры  $T_\lambda$  и температуры  $T_S$ , восстановленной после атмосферной коррекции

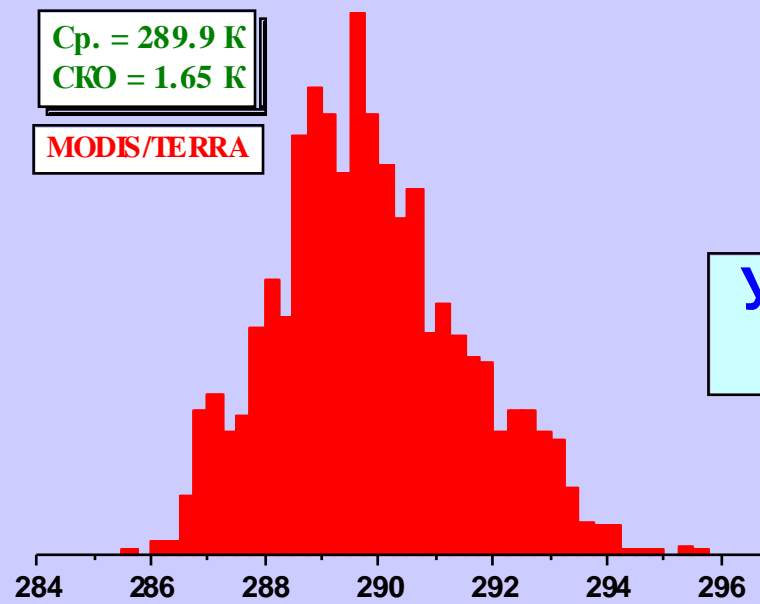
Участки	$T_\lambda$		$T_S$		$T_S - T_\lambda$	
<b>Режим - Low gain</b>						
<b>№ 1</b>	<b>287.04</b>	<b>2.18</b>	<b>290.44</b>	<b>2.63</b>	<b>3.39</b>	<b>0.46</b>
	272.83	298.52	272.95	304.28	0.12	5.76
<b>№ 2</b>	<b>288.42</b>	<b>2.95</b>	<b>291.99</b>	<b>3.46</b>	<b>3.57</b>	<b>0.54</b>
	280.14	301.48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



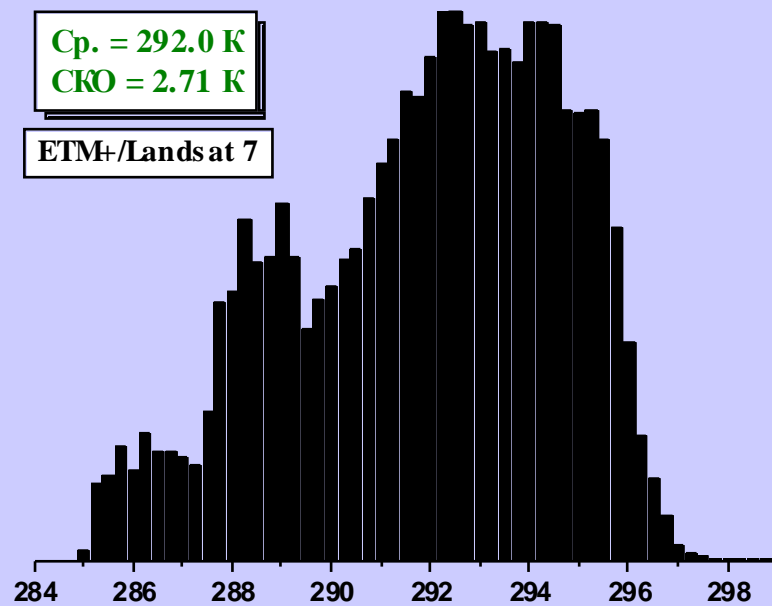


Температура по поверхности, К

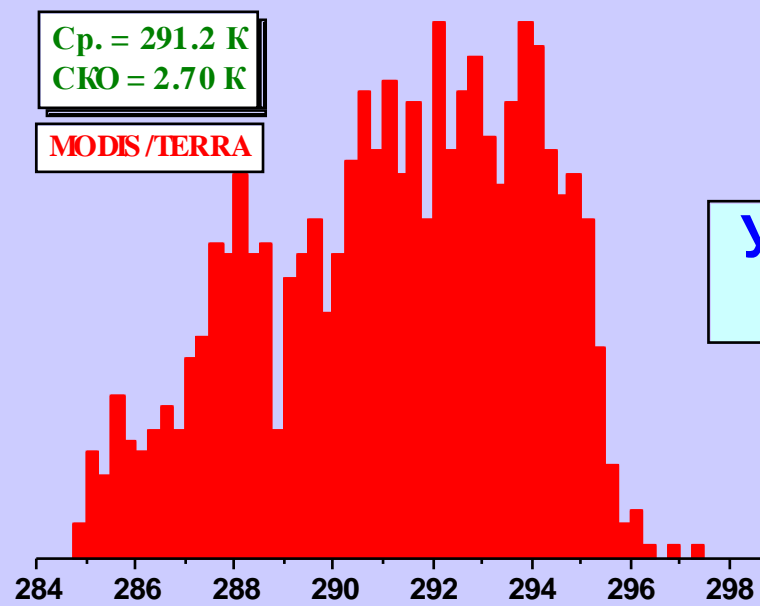


Температура по поверхности, К

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!