



Д33, 10-14 ноя 2025, ИКИ РАН

Беляев Д.А., Стариченко Е.Д., Коссова Д.А.,
Федорова А.А., Трохимовский А.Ю., Кораблев О.И.
+ ISSI team

Вариации слоя мезопаузы в атмосфере Марса по многолетним наблюдениям с орбиты

- Переходная зона между мезосферой и термосферой
- Температурный минимум
- Условия для конденсации CO₂
- Волновая активность

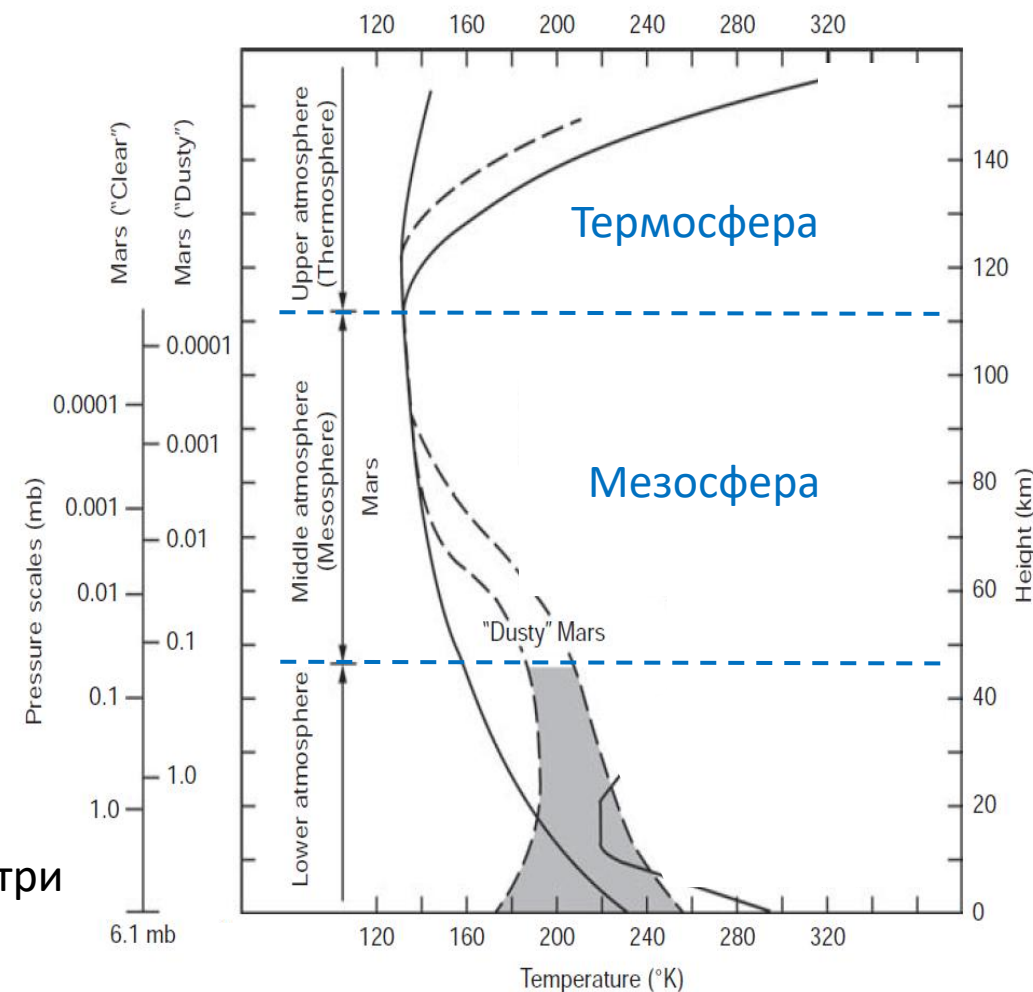
Первые регулярные наблюдения мезопаузы:

звездное просвечивание SPICAV-UV «Марс-Экспресс»

(2004-2011, [Forget et al., 2009])

Цель:

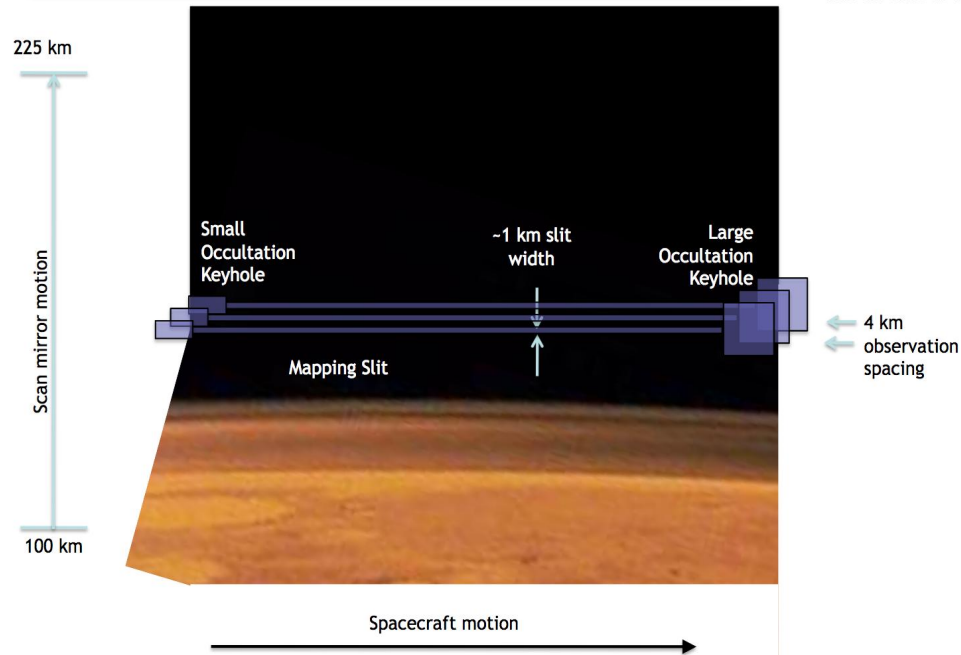
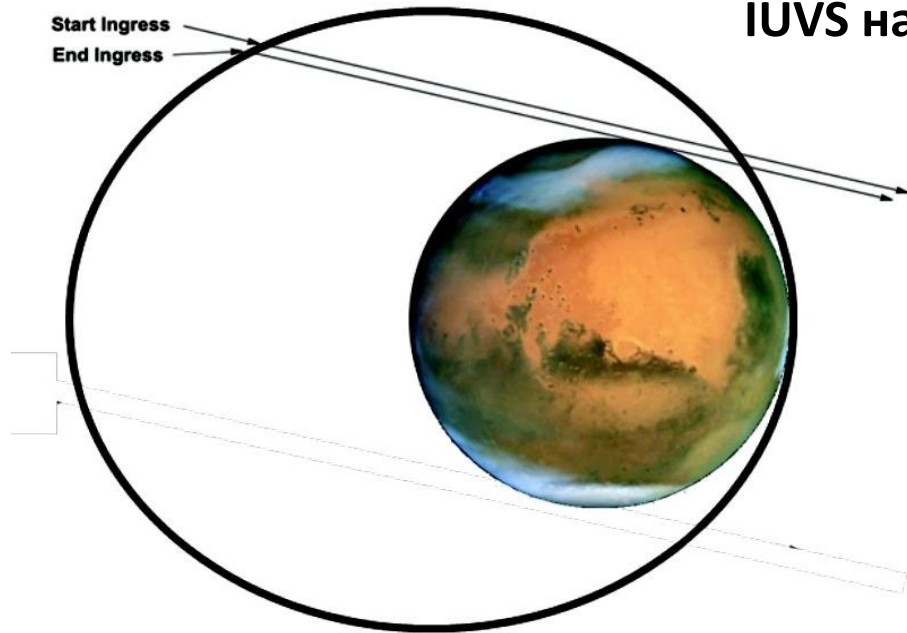
Сезонные, широтные, суточные вариации высоты и температуры мезопаузы по многолетним наблюдениям с бортов TGO и MAVEN (три эксперимента приборами IUVS и ACS)



IUVS на борту КА MAVEN (Mars Atmosphere and Volatile EvolutionN)

Imaging UV Spectrometer, октябрь 2014 - н.в.

- два канала: far-UV, 110-180 нм, $\Delta\lambda=0.06$ нм;
mid-UV, 170-340 нм, $\Delta\lambda=1,2$ нм
- зондирование вертикальной структуры атмосферы в двух режимах:
 - 1) Звездное просвечивание [Groller +, 2018; Gupta +, 2022]
 - 2) Сканы свечения O I 297.2 нм на дневном лимбе [Evans +, 2022]



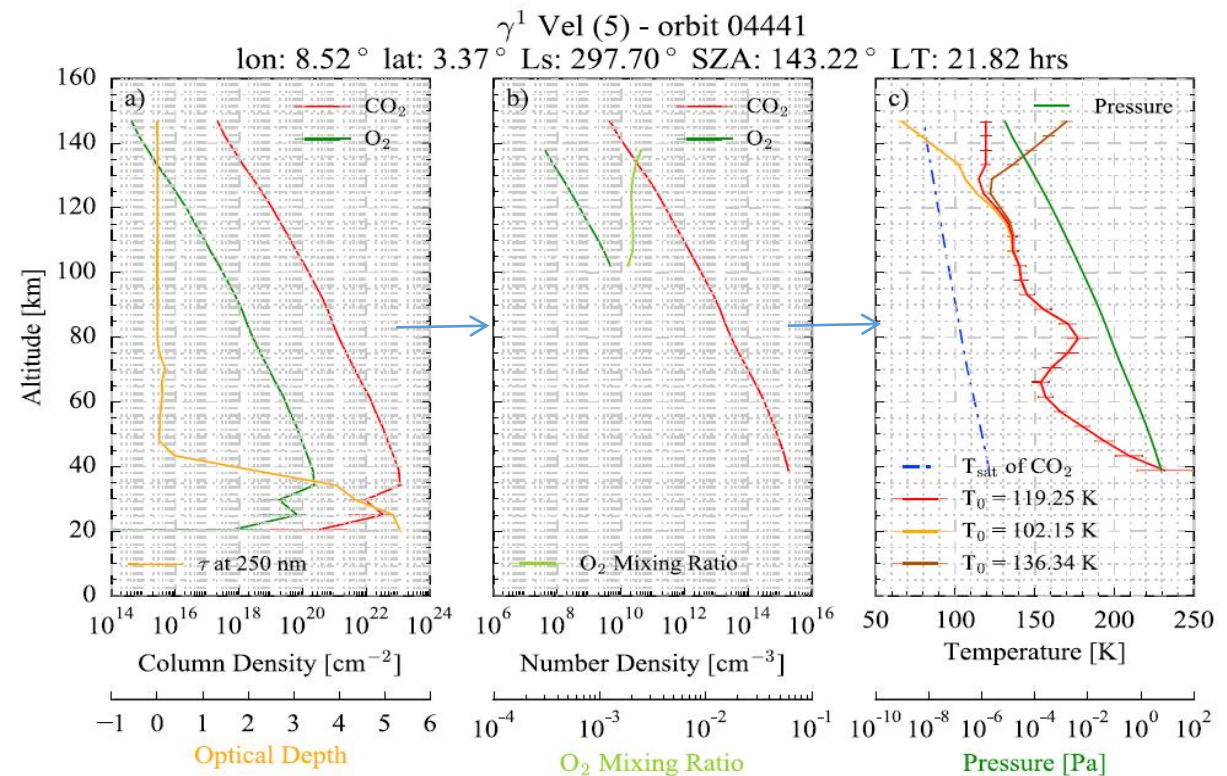
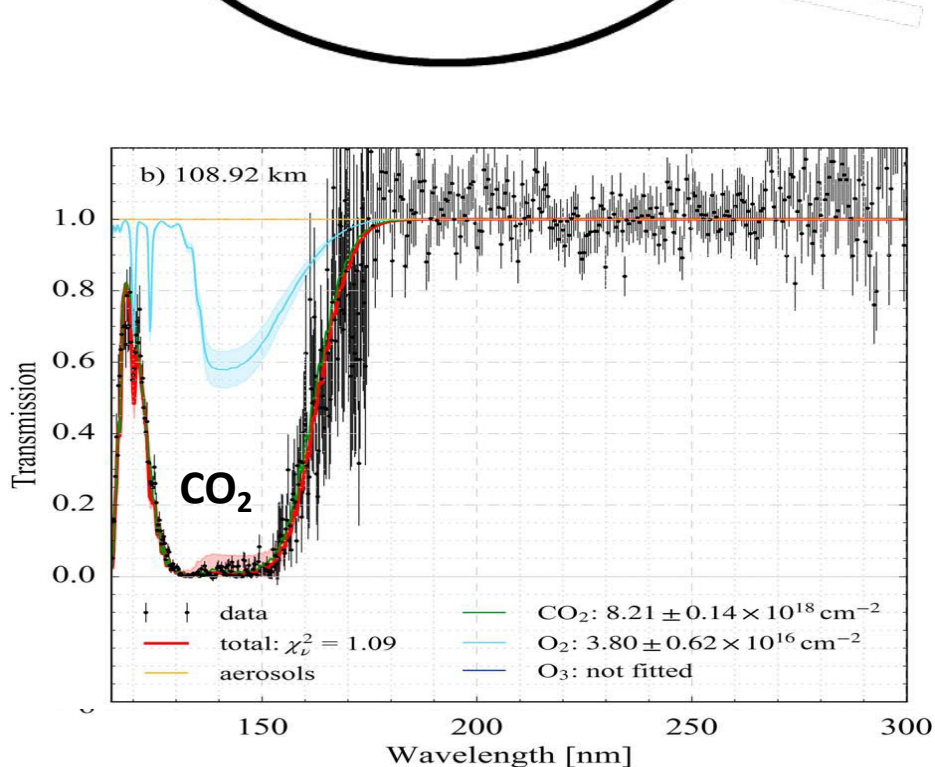
IUVS на борту КА MAVEN (Mars Atmosphere and Volatile EvolutionN)

Imaging UV Spectrometer, октябрь 2014 - н.в.

- два канала: far-UV, 110-180 нм, $\Delta\lambda=0.06$ нм;
mid-UV, 170-340 нм, $\Delta\lambda=1,2$ нм

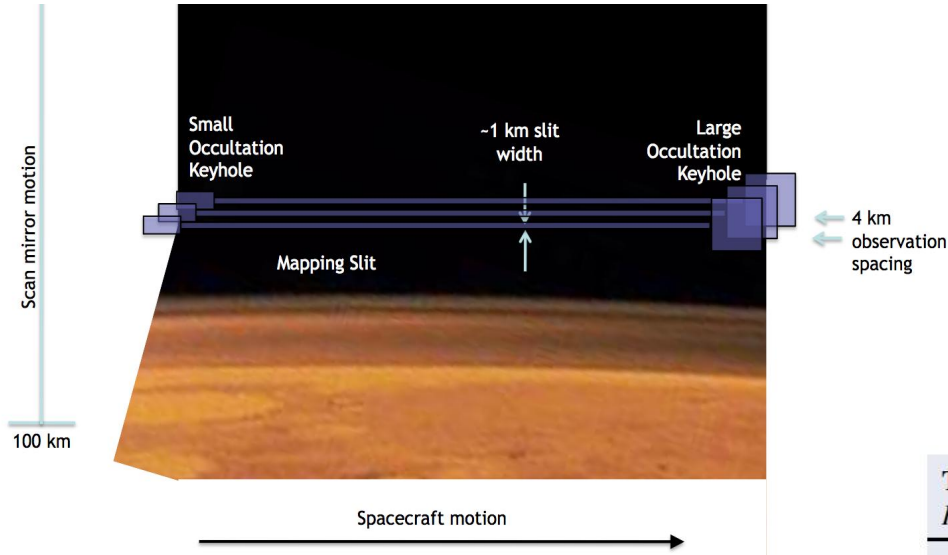
- зондирование вертикальной структуры атмосферы в двух режимах:

1) Звездное просвечивание [Groller +, 2018; Gupta +, 2022]



IUVS на борту КА MAVEN (Mars Atmosphere and Volatile EvolutionN)

Imaging UV Spectrometer, октябрь 2014 - н.в.

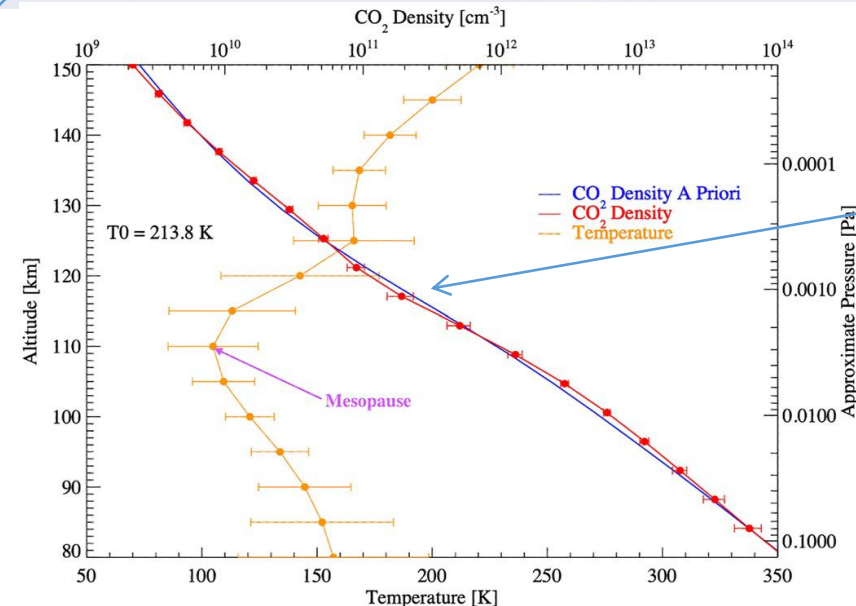
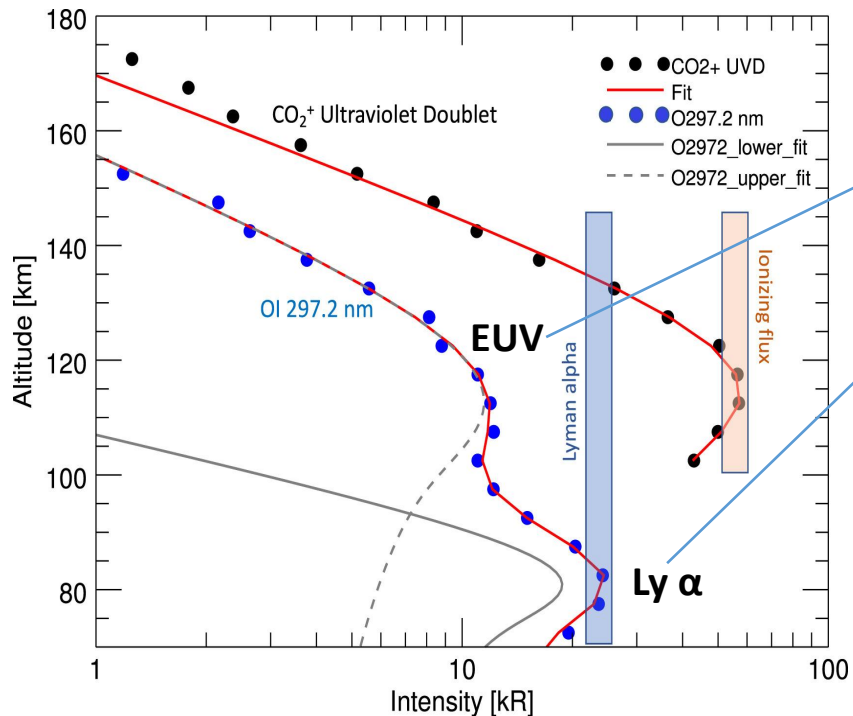


- два канала: far-UV, 110-180 нм, $\Delta\lambda=0.06$ нм;
mid-UV, 170-340 нм, $\Delta\lambda=1,2$ нм
 - зондирование вертикальной структуры атмосферы в двух режимах:
- 2) Сканы свечения O I 297.2 нм на дневном лимбе [Evans +, 2022]

Table 1

Production of $O(^1S)$ Atoms and Key Quantities

Process	Reaction	Quantity
1a	$h\nu + \text{CO}_2 \rightarrow O(^1S) + \text{CO}$	$\pi F_o(\text{EUV}); \sigma_{1a}^{pd}; \sigma_{1a}^{abs}$
1b	$h\nu + \text{CO}_2 \rightarrow O(^1S) + \text{CO}$	$\pi F_o(\text{Ly}_\alpha); \sigma_{1b}^{pd}; \sigma_{1b}^{abs} = 6.54 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$



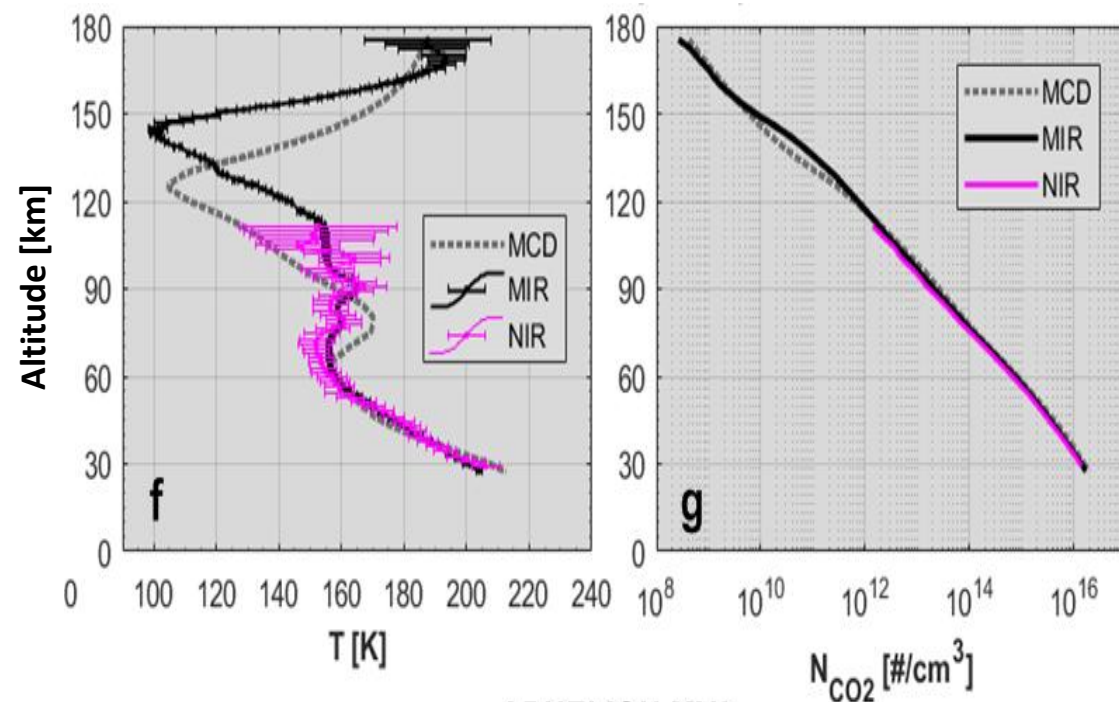
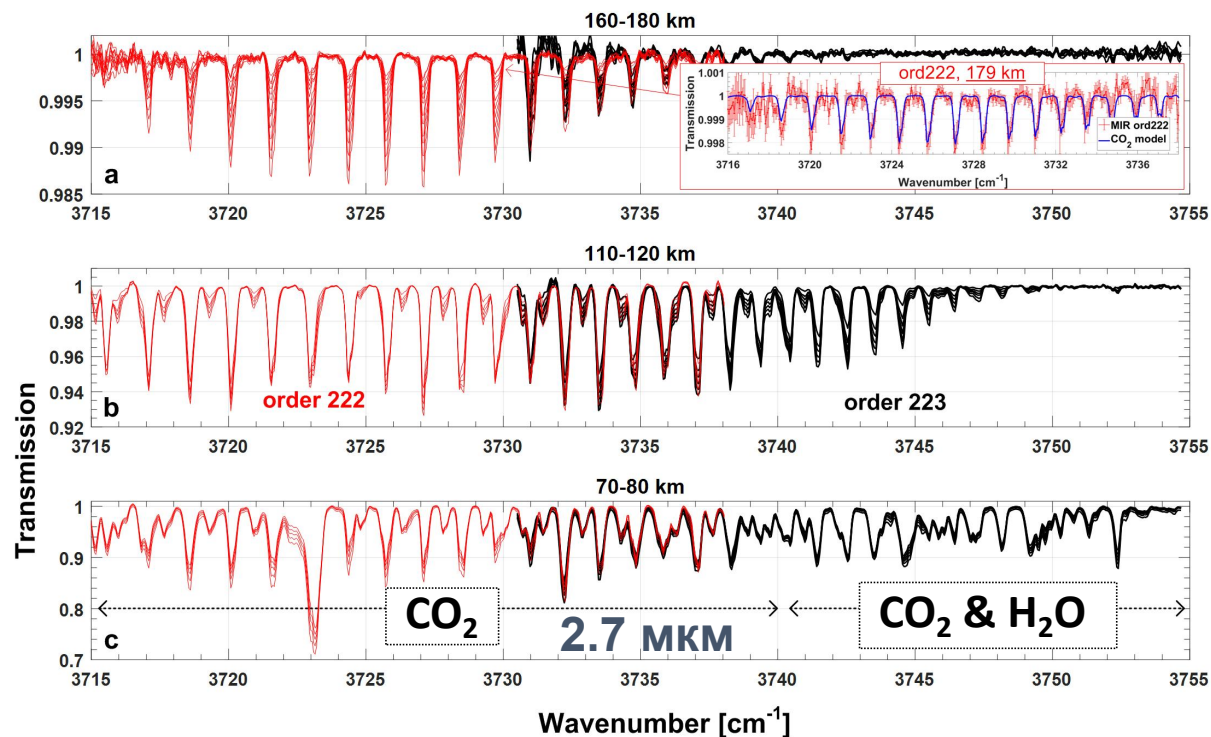
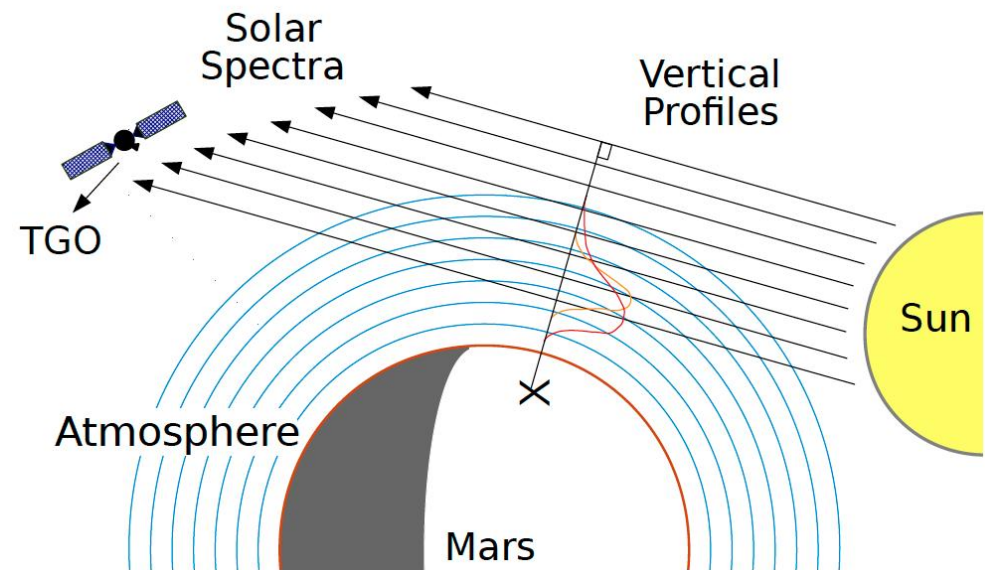
Гидростатическое приближение:

$$T(z) = \frac{P(z)}{n(z)k} = \frac{T(z_{\max})n(z_{\max})}{n(z)} + \frac{1}{n(z)k} \left(\int_z^{z_{\max}} n(u)g_o \frac{r_o^2}{(r_o + u)^2} du \right)$$

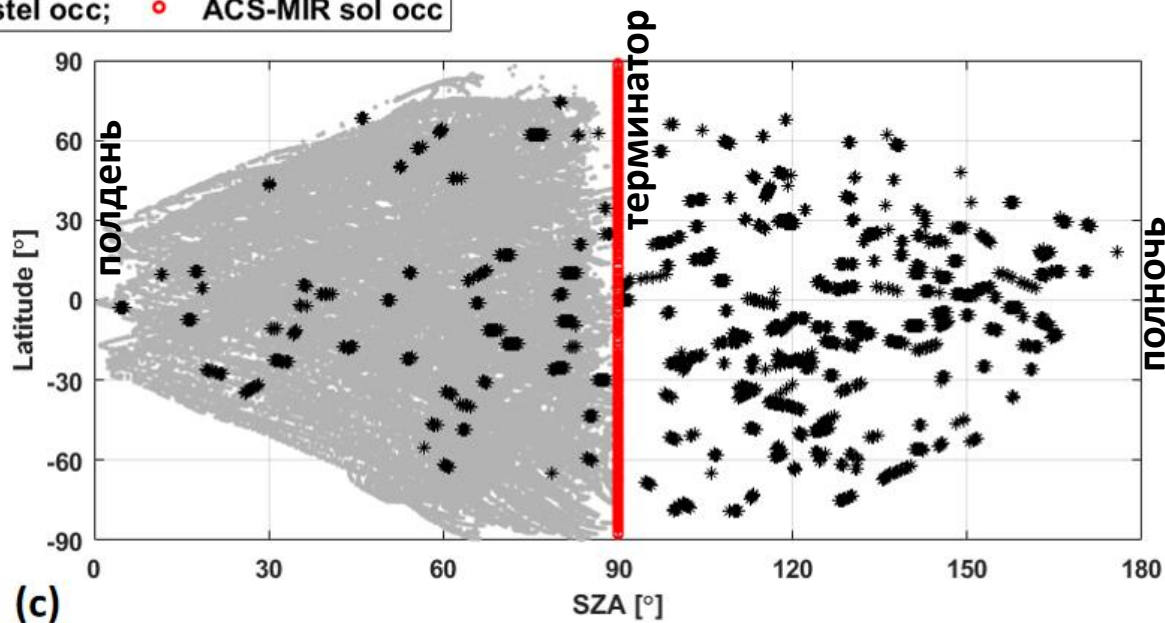
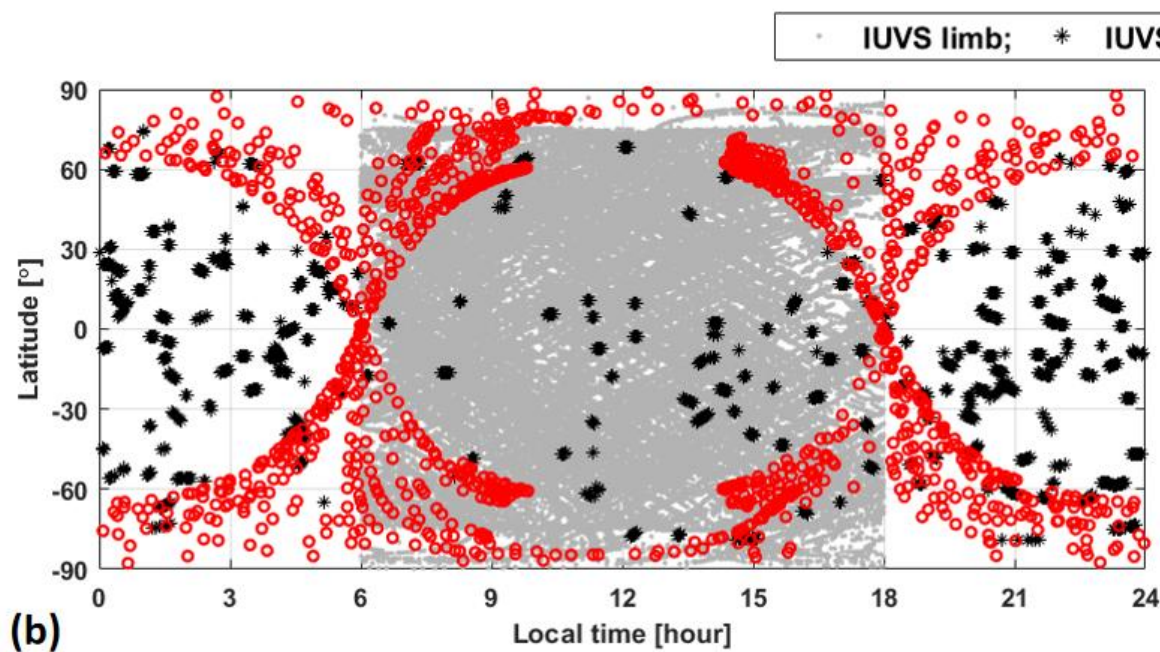
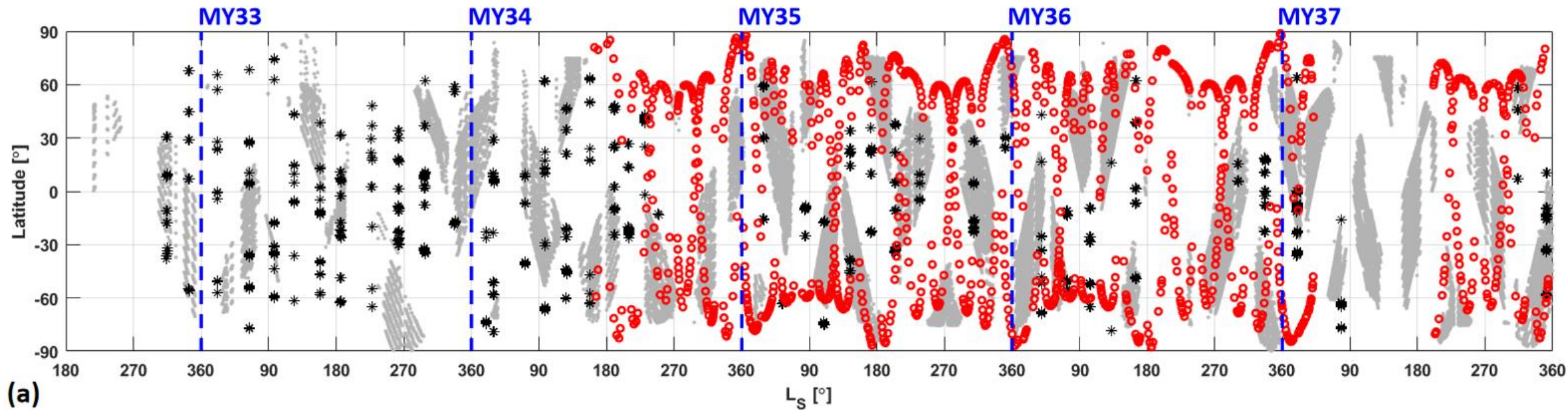
ACS-MIR на борту ExoMars/TGO (Trace Gas Orbiter)

Atmospheric Chemistry Suite, апрель 2018 - н.в.

- канал mid-IR: 2.3 – 4.2 мкм
 $\lambda/\Delta\lambda \sim 25\,000$
- зондирование вертикальной структуры мезосферы и термосферы в режиме солнечного просвечивания [Belyaev +, 2021, 2022]



Покрывтие данных





TGO



MAVEN



ВЫВОДЫ

Обработано ~80000 высотных профилей температуры и плотности CO₂ по данным трех экспериментов приборами IUVS и ACS модели MPCM:

- Высота мезопаузы меняется по сезонам: от 80 км зимой в южном полушарии до 130-140 км летом в южном полушарии
- Температура мезопаузы меняется со временем суток и SZA: растёт от 80-100 K в ночное время (SZA>90) до 150-160 K в дневное время (SZA<90)
- Согласно данным: ночная/утренняя T_{MESO} на 20-30 K холоднее дневной/вечерней. Согласно модели MPCM: наоборот
- Температура в мезопаузе достигает температур конденсации CO₂ преимущественно на ночной стороне. На терминаторе охлаждение порождается волнами (ВГВ)
- Сравнение с данными SPICAM UV в процессе