



TGO



MAVEN



Д33, 10-14 ноября 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

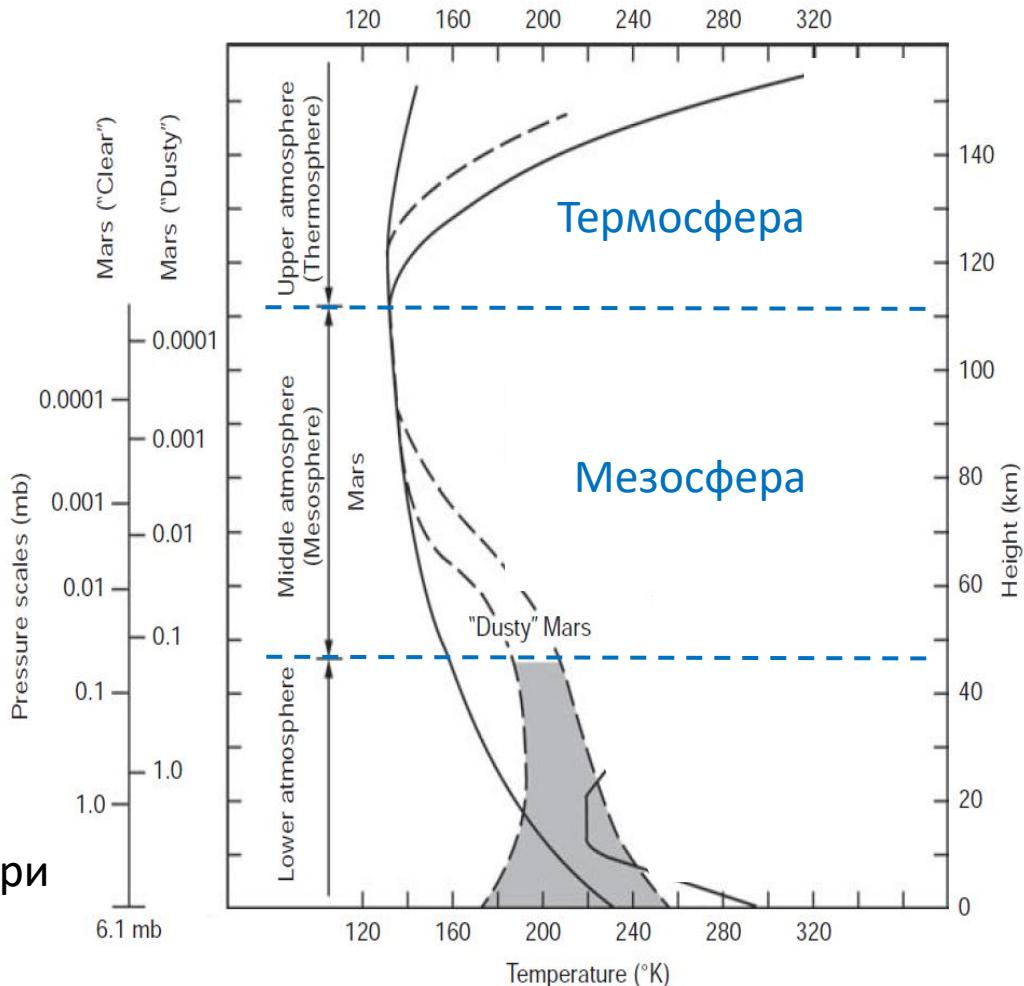
- Переходная зона между мезосферой и термосферой
- Температурный минимум
- Условия для конденсации CO₂
- Волновая активность

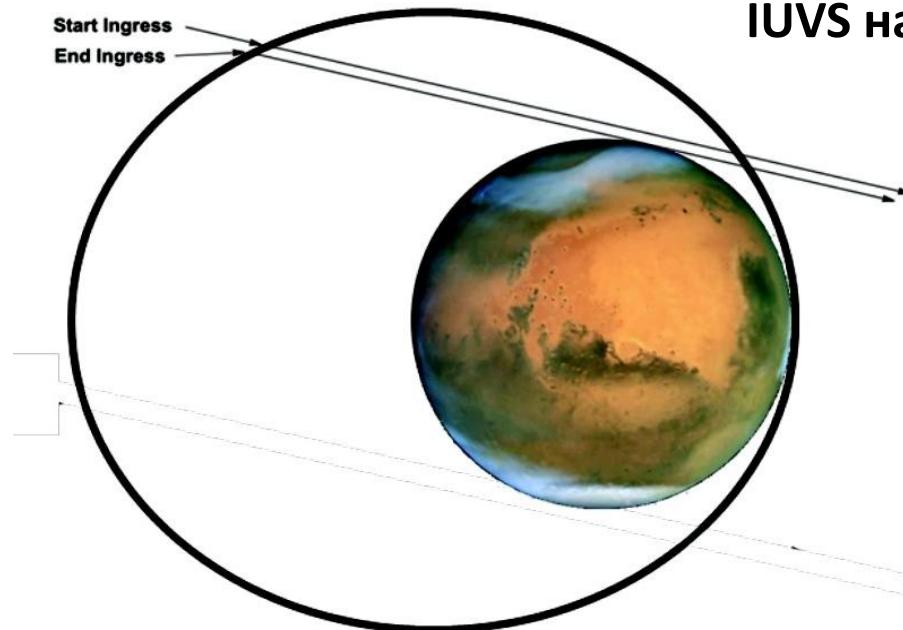
Первые регулярные наблюдения мезопаузы:

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)

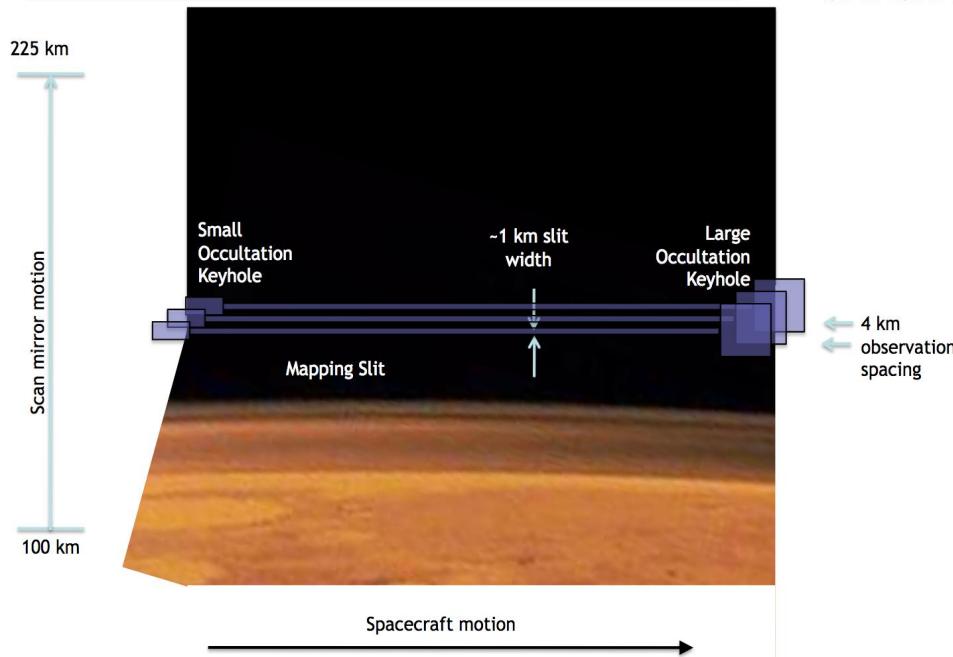


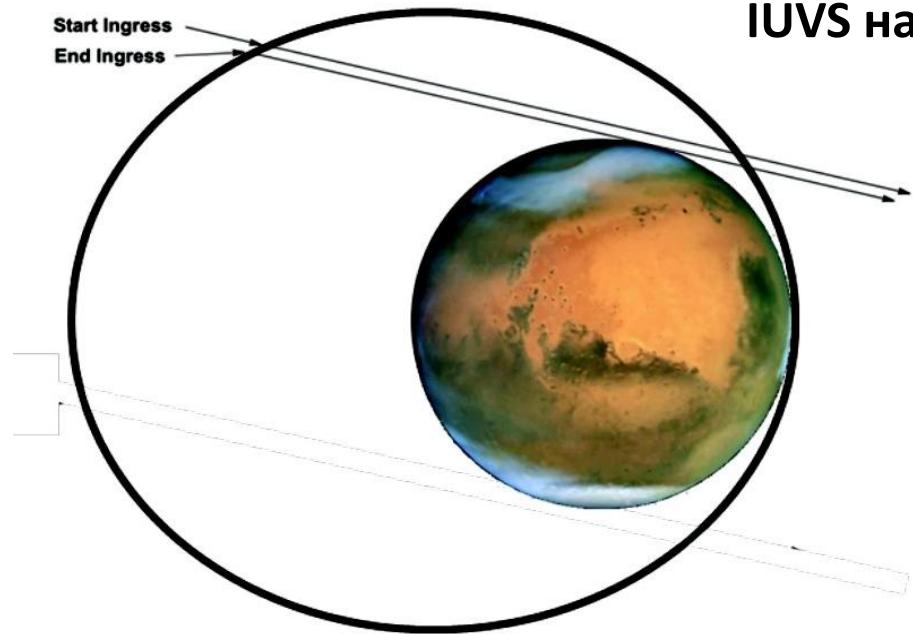


IUVS на борту КА MAVEN (Mars Atmosphere and Volatile EvolutioN)

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 О I 297.2 нм на дневном лимбе [Evans +, 2022]

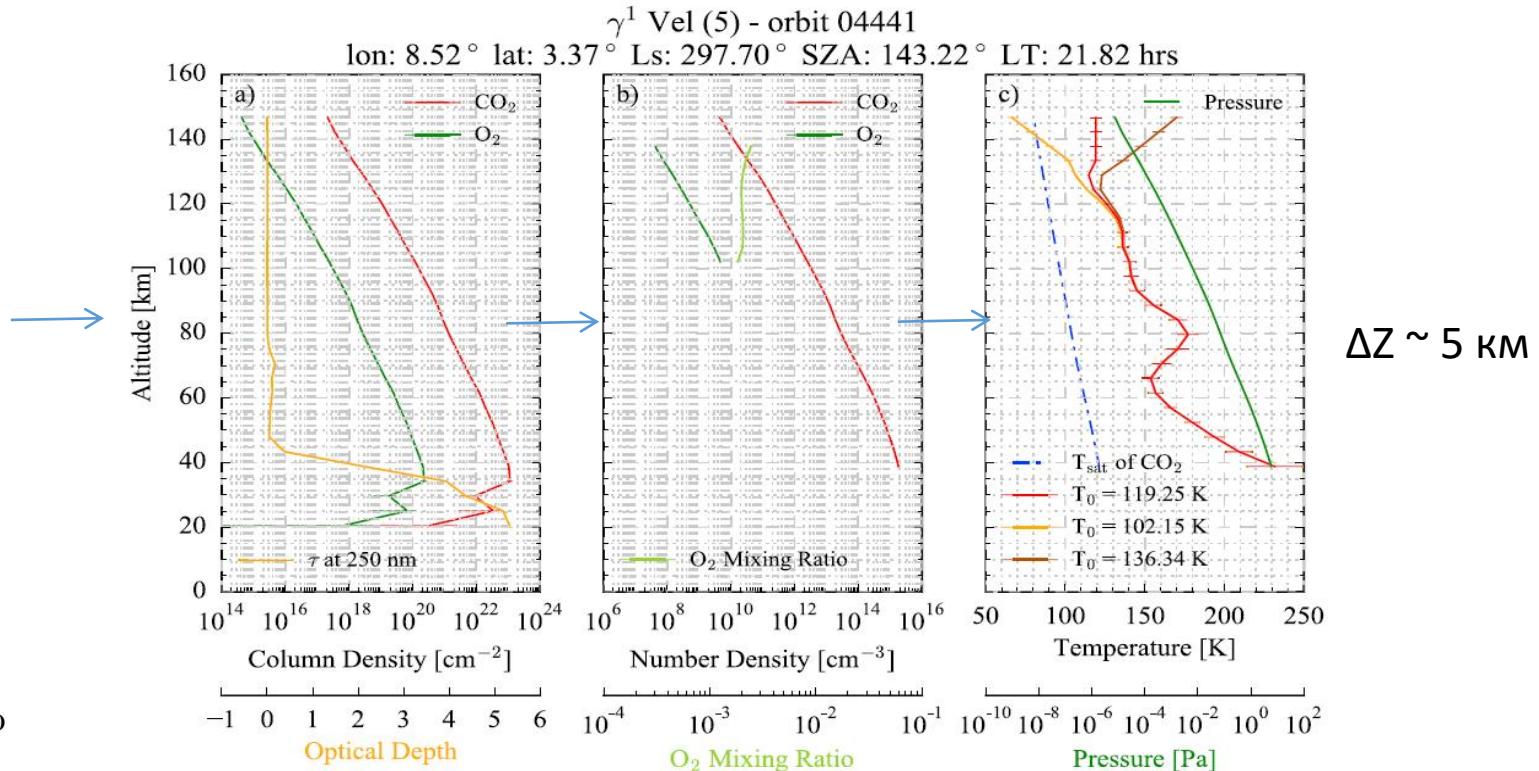
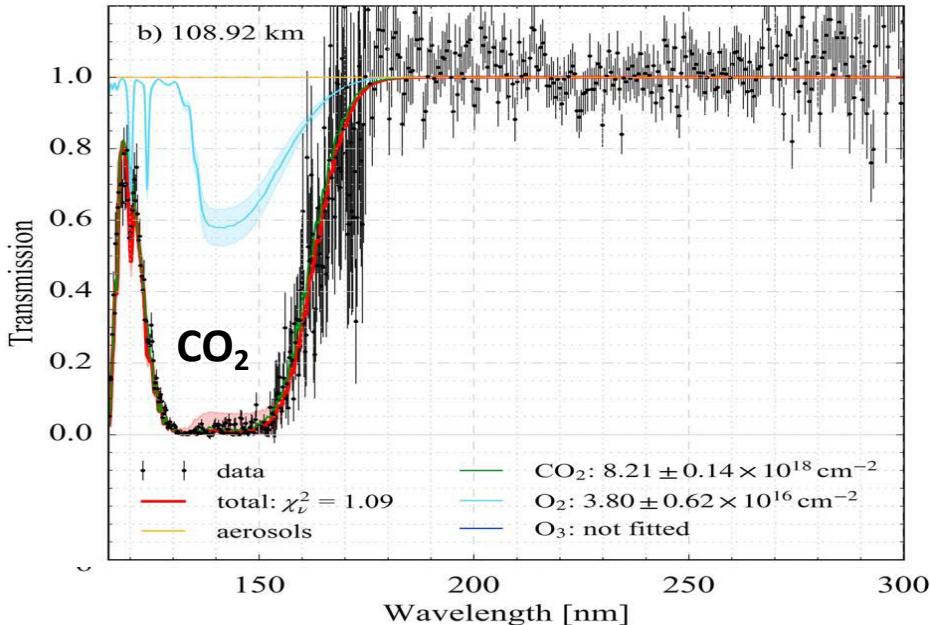




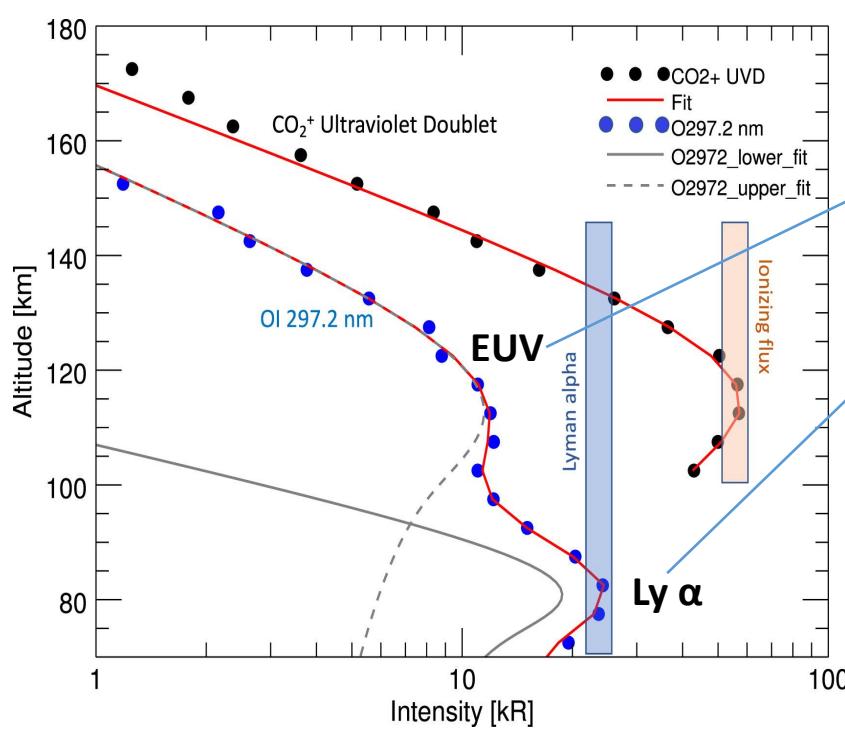
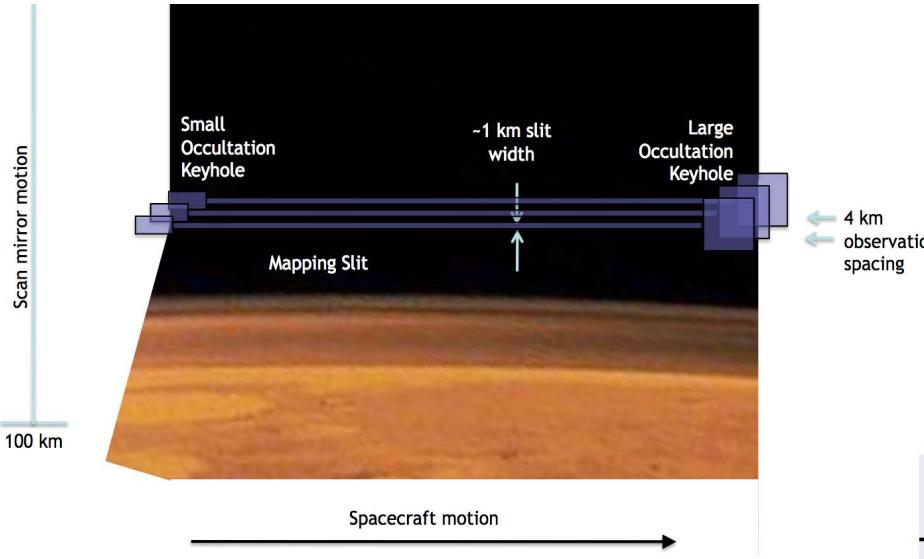
IUVS на борту КА MAVEN (Mars Atmosphere and Volatile EvolutioN)

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 EvolutioN)



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:

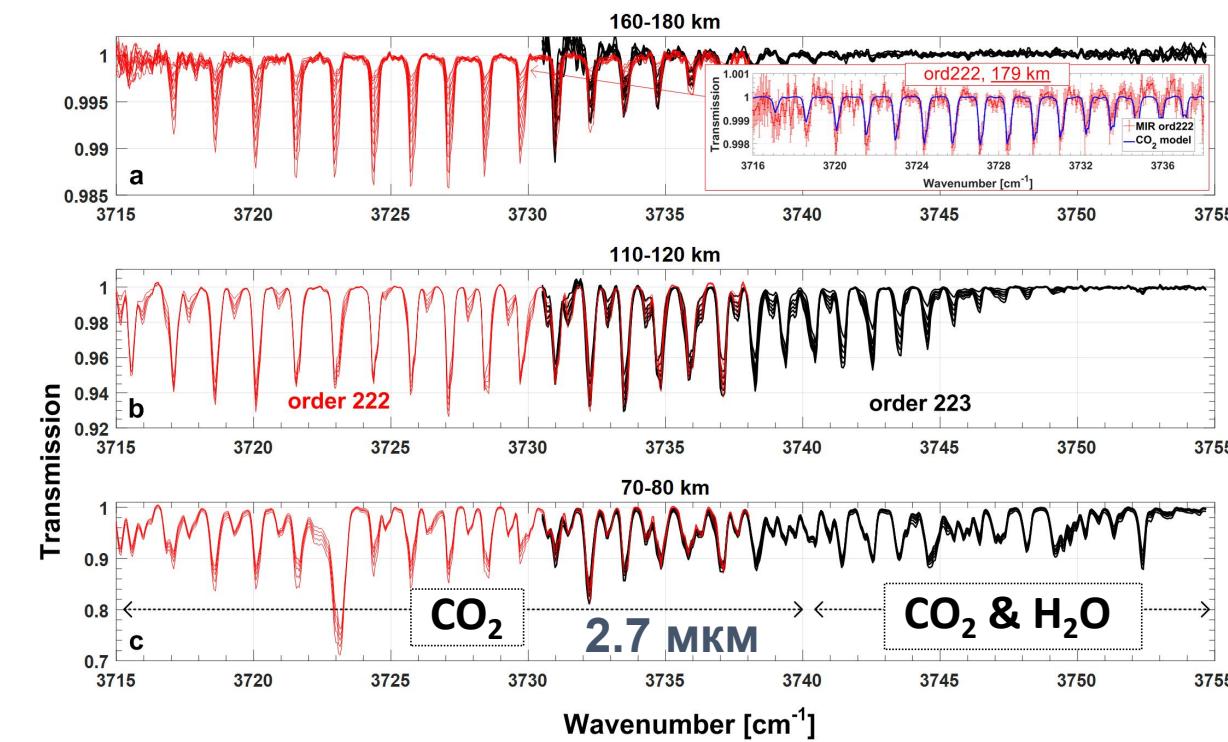
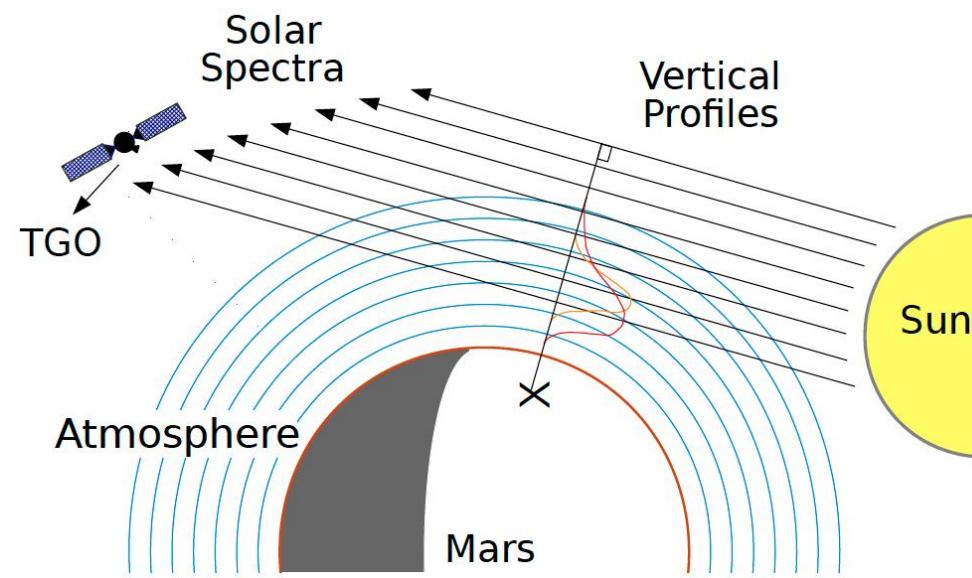
2) Сканы свечения О I 297.2 нм на дневном лимбе [Evans +, 2022]

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

Figure 1: A plot showing the altitude dependence of CO_2 density and temperature. The x-axis is Temperature [K] from 50 to 350. The left y-axis is Altitude [km] from 80 to 150. The right y-axis is Approximate Pressure [Pa] from 0.1000 to 0.0001. A blue line represents CO_2 Density A Priori, a red line represents CO_2 Density, and a yellow line represents Temperature. A purple line labeled "Mesopause" shows a sharp decrease in density around 100 km. A blue arrow points from the reaction equations to the CO_2 density data. The plot also includes a shaded region for the 1a and 1b processes.

Гидростатическое приближение:

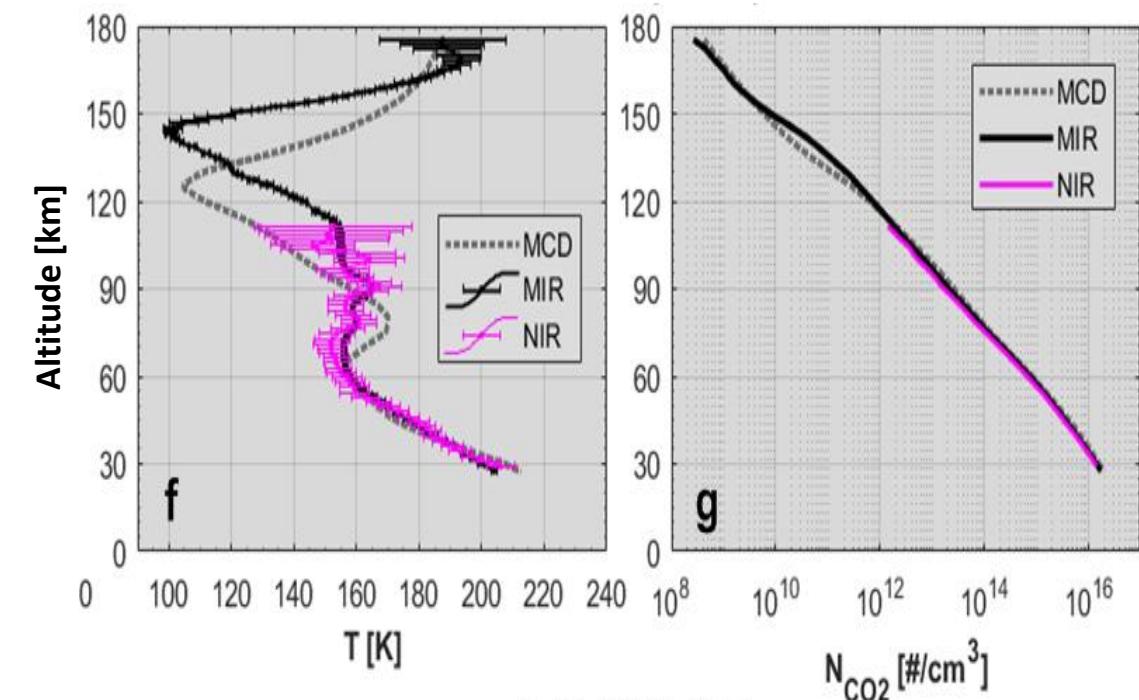
$$T(z) = \frac{P(z)}{n(z)k} = \frac{T(z_{\max})n(z_{\max})}{n(z)k} + \frac{1}{n(z)k} \left(\int_z^{z_{\max}} n(u) g_o \frac{r_o^2}{(r_o + u)^2} du \right)$$



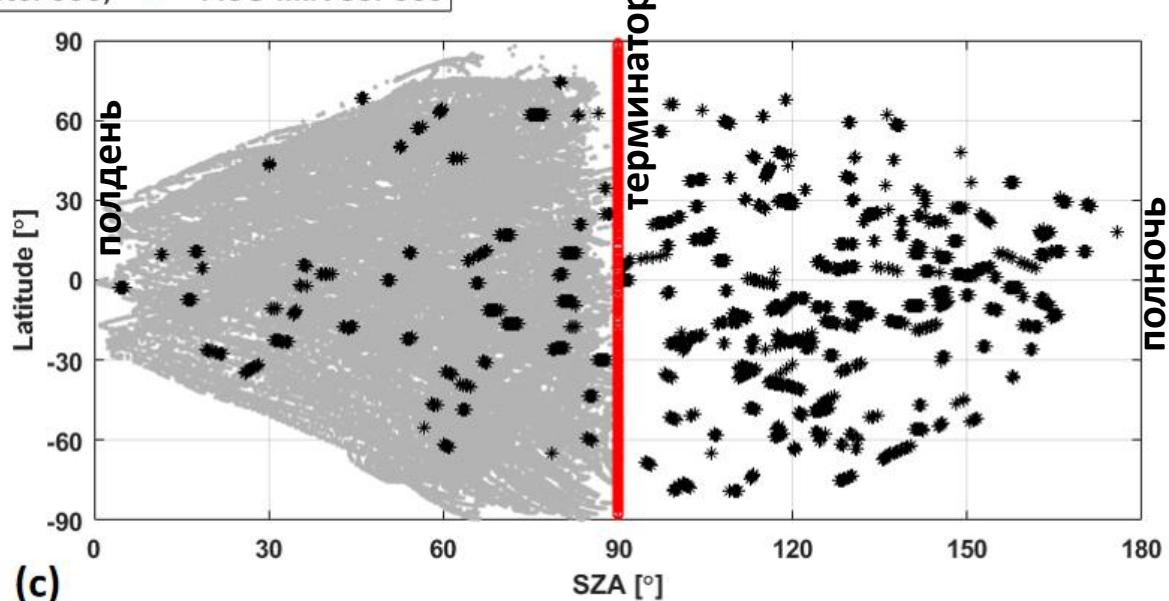
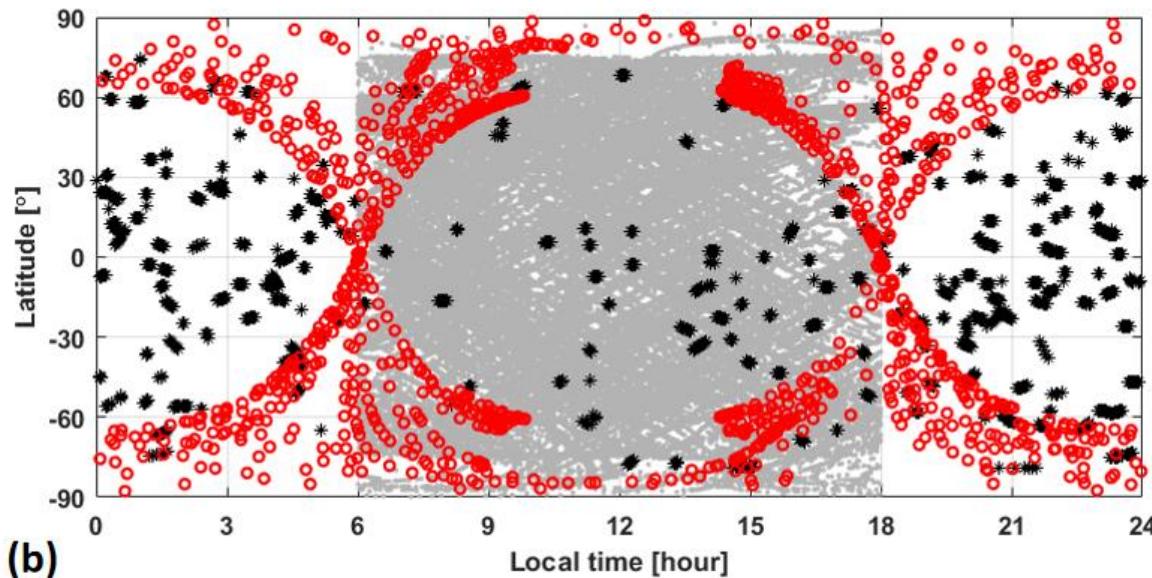
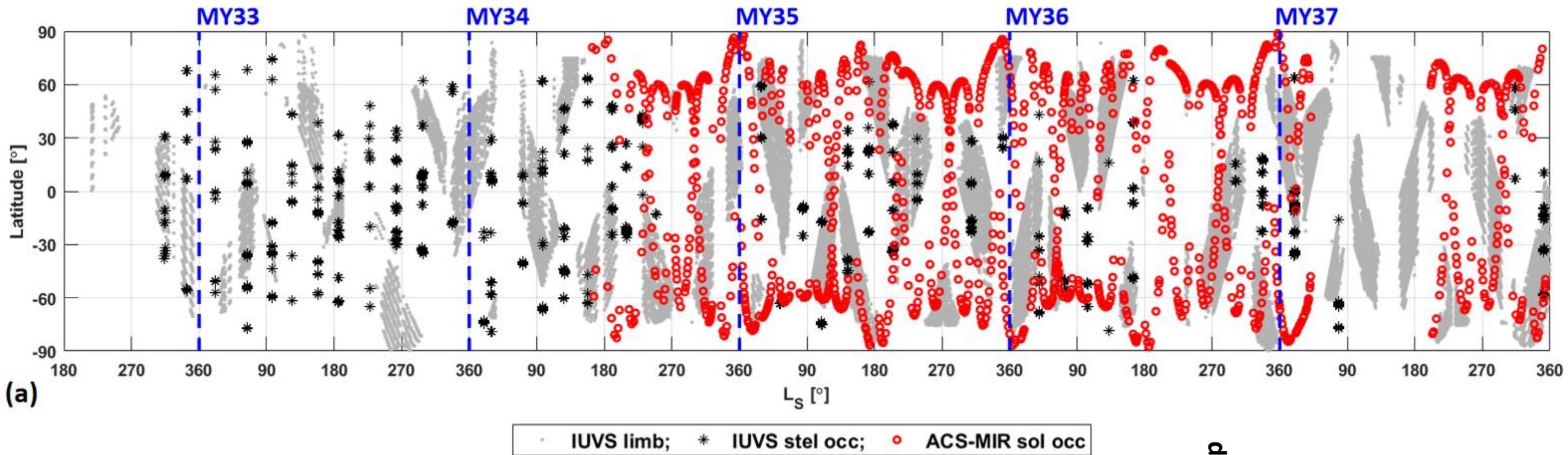
ACS-MIR на борту ExoMars/TGO (Trace Gas Orbiter)

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]



Покрытие данных





ВЫВОДЫ

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

- 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 К в ночное время (SZA>90) до 150-160 К в дневное время (SZA<90)
- Согласно данным: ночная/утренняя T_{MESO} на 20-30 К холоднее дневной/вечерней. Согласно модели МРСМ: 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