

# Исследование гомопаузы атмосферы Марса по данным ACS/TGO за 2,5 марсианских года.

Коссова Д.А (1), Беляев Д.А. (2,1), Федорова А.А. (2), Кораблев О.И. (2), Трохимовский А. Ю. (2), Стариченко Е.С. (2), Патракеев А. (2)

(1) Национальный исследовательский университет, Высшая школа экономики, Москва, Россия

(2) Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

Двадцать первая международная конференция

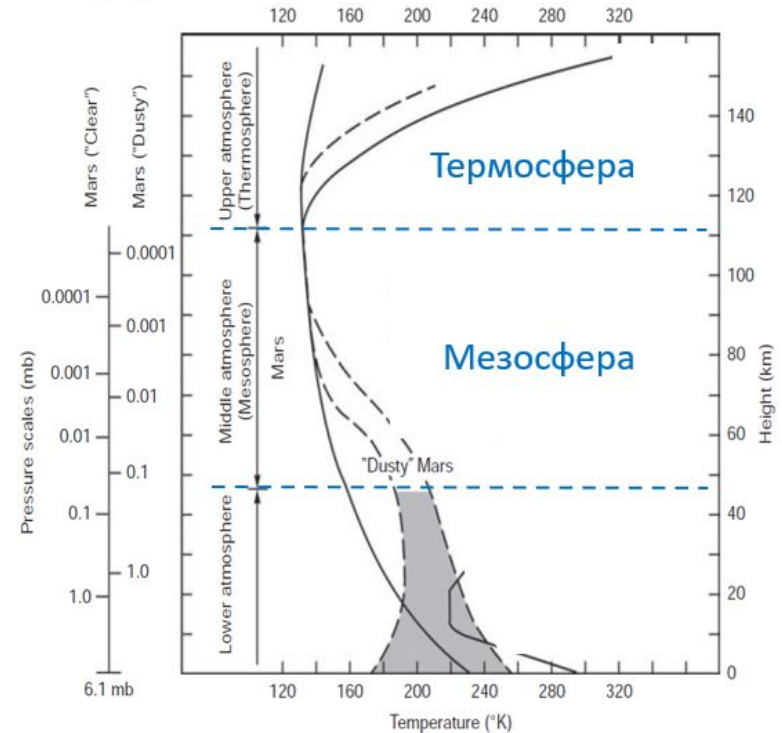
"СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА"

ИКИ РАН, 13–17 ноября 2023

# Введение

Гомопауза (расположена в диапазоне от 90 до 130 км) — слой атмосферы, выше которого турбулентное перемешивание меняется на молекулярное.

Вариации высоты гомопаузы обусловлены как сезонной изменчивостью солнечной активности, так и вертикальным переносом энергии, вызванном глобальной циркуляцией и атмосферными волнами.

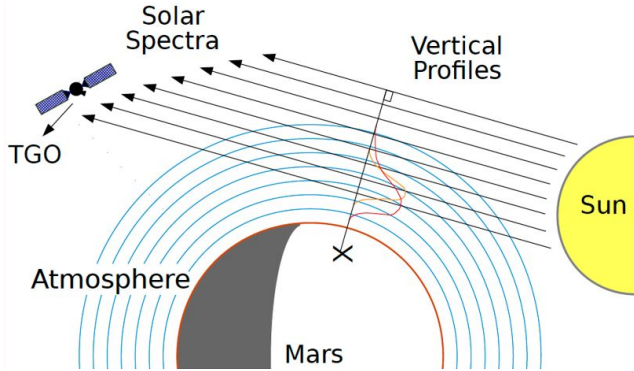


## Цель работы:

Определить высоту гомопаузы по вертикальным профилям структуры атмосферы в крайне широком диапазоне высот (20-180 км) по данным ACS (Atmospheric Chemistry Suite).

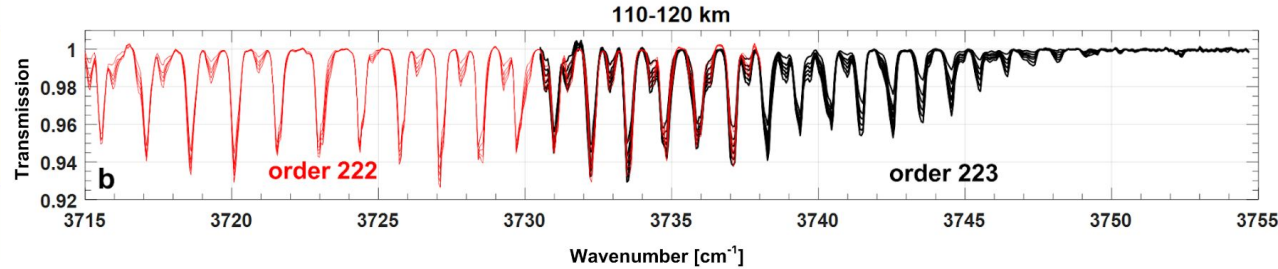
# Солнечное просвечивание ACS на борту ExoMars/TGO

## ACS – Atmospheric Chemistry Suite



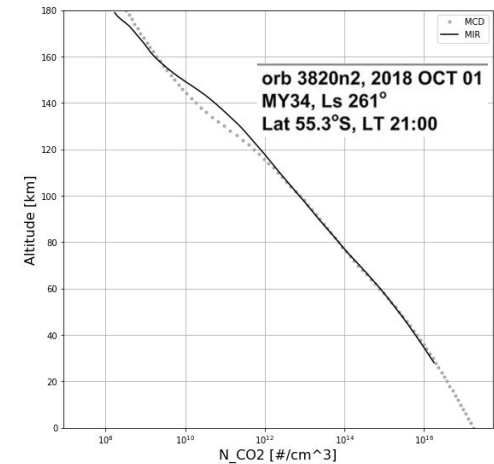
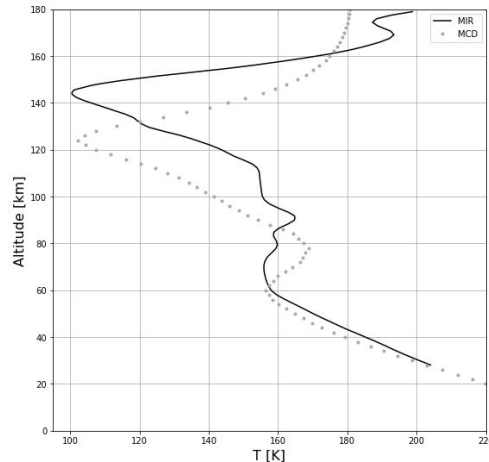
### Канал ACS:

MIR (2.3 - 4.2  $\mu\text{m}$ ) – разрешающая способность  $\lambda/\Delta\lambda \sim 30\,000$

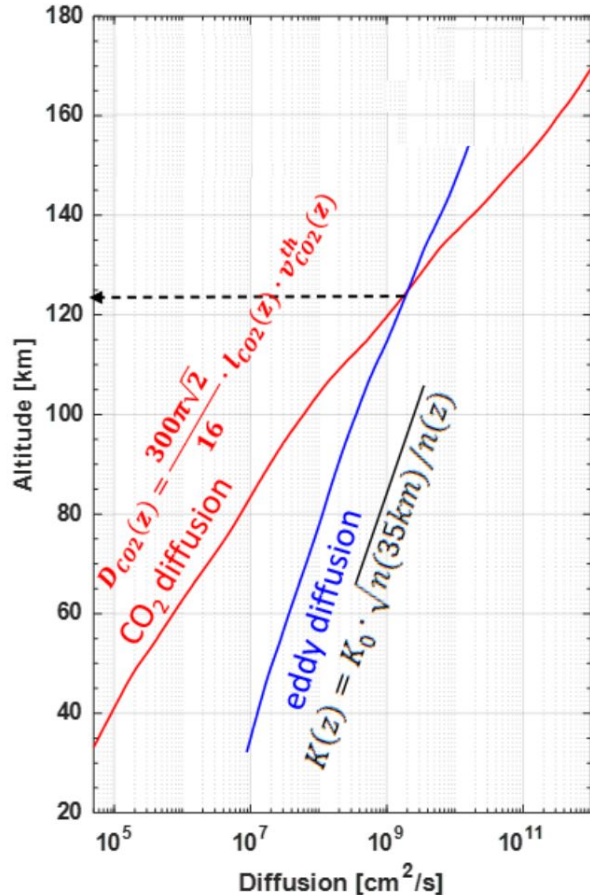


Наблюдения за 2,5 Марс. года (MY):  
с середины MY34 (Май 2018) до  
конца MY36 (Декабрь 2022).

Измерение плотности и температуры  
атмосферы в полосе поглощения  
CO<sub>2</sub> около 2.7 мкм в широком  
диапазоне высот (от 20 до 180 км)  
[Belyaev et al., 2022].



# Высота гомопаузы



ГОМОСФЕРА: турбулентное перемешивание  $K_{\text{eddy}}$

ГЕТЕРОСФЕРА: молекулярное перемешивание  $D_{\text{CO}_2}$

ГОМОПАУЗА:  $K_{\text{eddy}} = D_{\text{CO}_2}$

Расчет коэффициентов турбулентной (eddy) и молекулярной диффузии, используя измеренные температуры  $T(z)$ , плотности  $N_{\text{CO}_2}(z)$  и гидростатическое давление  $p(z)$ :

Турбулентная диффузия:  $K(z) = K_0 \cdot \sqrt{n(35\text{km})/n(z)}$

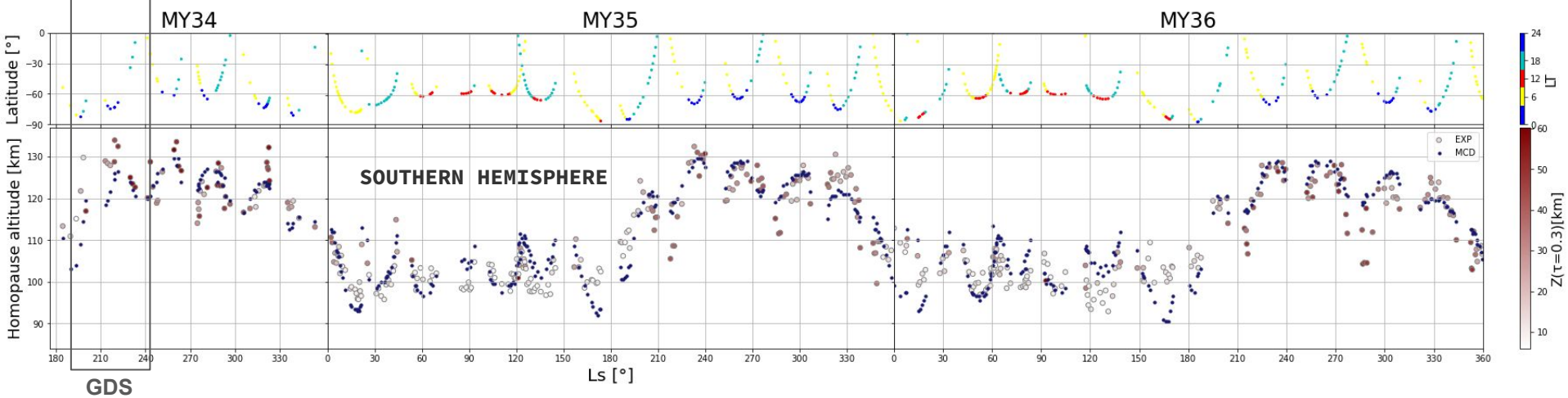
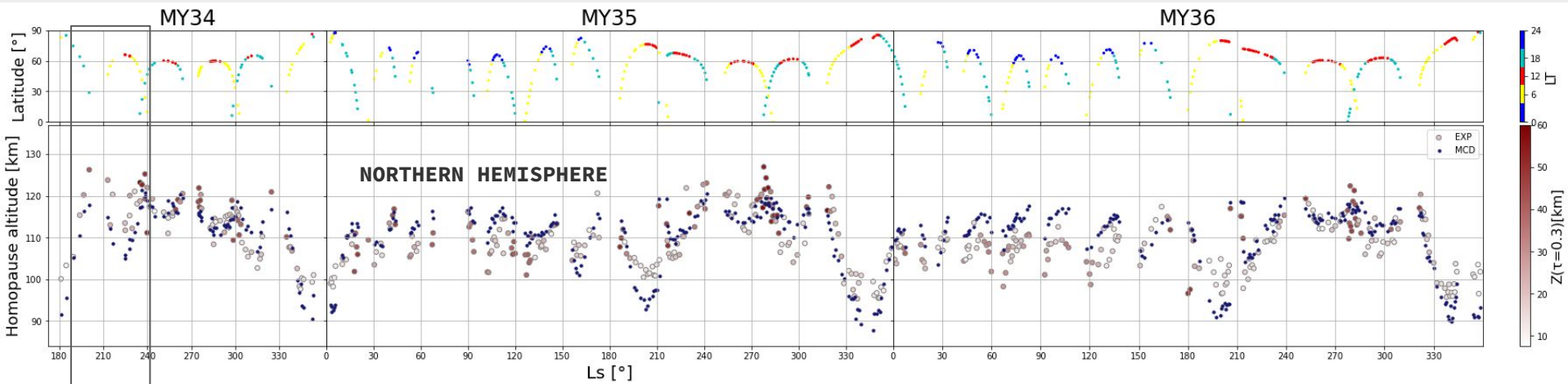
$K_0 = 10^7 \text{ cm}^2/\text{s}$  at  $z = 35 \text{ km}$  as recommended by Rosenqvist&Chassefière (1995).  $n = p/k_B T$

Молекулярная диффузия (Piccialli et al., 2015):

$$D_{\text{CO}_2}(z) = \frac{300\pi\sqrt{2}}{16} \cdot l_{\text{CO}_2}(z) \cdot v_{\text{CO}_2}^{\text{th}}(z)$$

$$l_{\text{CO}_2}(z) = (Q_{\text{CO}_2} \cdot n_{\text{CO}_2}(z))^{-1}, \quad Q_{\text{CO}_2} \text{ – газокинетическое эффективное сечение молекулы (0.52 nm}^2\text{)}$$

$$v_{\text{CO}_2}^{\text{th}}(z) = \sqrt{3 \cdot k_B \cdot T(z) \cdot N_A / M_{\text{CO}_2}}$$



## Выводы

- ❑ Высота гомопаузы варьируется от 90 км в афелии до 130 км в перигелии и зависит от пылевой активности.
- ❑ Поведение высот гомопаузы, рассчитанных по экспериментальным данным с использованием 1D модели Краснопольского (2019), совпадает с предсказанными по MCD данными, кроме периода пылевой бури в MY36 (Ls 270° - Ls 300°).

## Литература

- Thermal Structure of the Middle and Upper Atmosphere of Mars From ACS/TGO CO<sub>2</sub> Spectroscopy. Belyaev et al., 2022.
- Spectroscopy and photochemistry of planetary atmospheres and ionospheres: Mars, Venus, Titan, and Pluto. Krasnopolsky, V. A., 2019.
- A reexamination of the relationship between eddy mixing and O<sub>2</sub> in the Martian middle atmosphere. Rosenqvist, J., & Chassefière, E., 1995.
- Thermal structure of Venus nightside upper atmosphere measured by stellar occultations with SPICAV/Venus Express. Piccialli, A., Montmessin, F., Belyaev, D., Mahieux, A., Fedorova, A., Marcq, E., et al., 2015.