

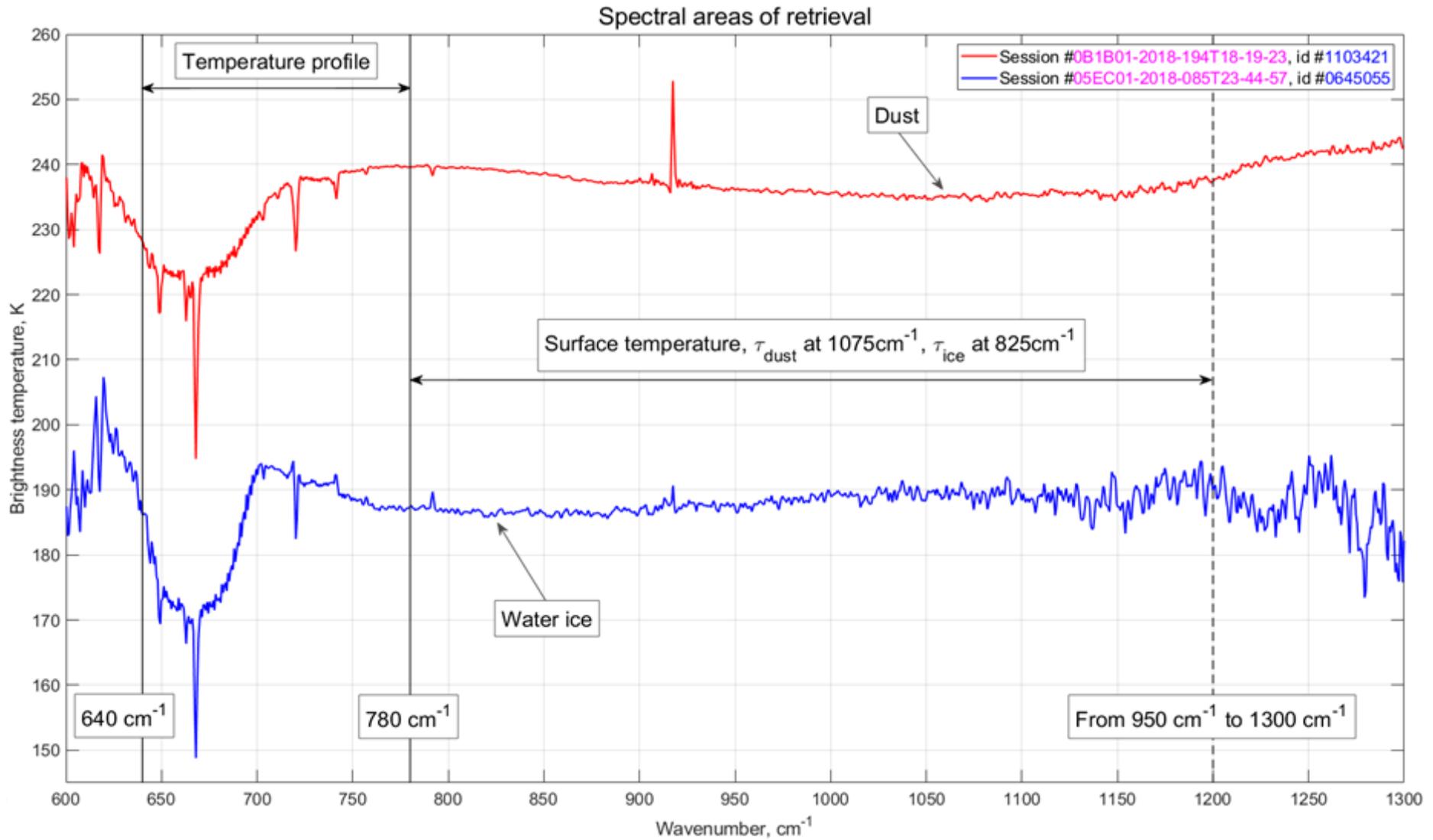
Приливы и планетарные волны в атмосфере Марса в период 26 мая - 15 июля 2018 г. по данным TIRVIM орбитального комплекса Exomars

Перцев Н.Н. (1), Зарубин А.С. (2), Погорельцев А.И. (2), Игнатъев Н.И. (3), Григорьев А.В. (3,4), Грасси Д. (5), Власов П. В. (6), Шакун А. В. (3), Пацаев Д. В. (3), Маслов И. А. (3), Трохимовский А. Ю. (3), Кораблев О. И. (3), Монтмессан Ф. (7).

- (1) Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Москва, Российская Федерация
- (2) Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт - Петербург, Российская Федерация
- (3) Институт космических исследований РАН, Москва, Российская Федерация
- (4) Australian National University, Канберра, Австралия
- (5) Istituto di Astrofisica e Planetologia Spaziali – Istituto Nazionale di Astrofisica (IAPS-INAF), Рим, Италия,
- (6) МФизТехУн-т, Долгопрудный, Российская Федерация
- (7) Laboratoire Atmosphères Milieux Observations Spatiales (LATMOS), Université Paris-Saclay, Sorbonne Université, CNRS, Guyancourt, France.

18-я конф «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», 16-20 ноября 2020

Example of ACS-TIRVIM calibrated data



Optimum estimation method for the inverse problem

Direct problem:

$$F(T_{surf}, T(z), k(z)) = I_v(z)$$

Inverse problem:

$$T_{surf}, T(z), \tau_{dust}, \tau_{ice} = F^{-1}(I_{meas})$$

Solution of the direct problem is solution of equation of radiative transfer without scattering:

$$\mu \frac{dI_v(z)}{dz} = -k_v(z) \cdot (I_v(z) - B(v, T(z))), \quad \mu = \cos \theta, \quad z = -\ln p$$

Solution of the inverse problem is the result of minimization of function:

$$Q = (dI - K \times F \times a)^T \times E^{-1} \times (dI - K \times F \times a) + a^T \times a, \quad dT = F \times a$$

Minimization gives the solution by iteration scheme:

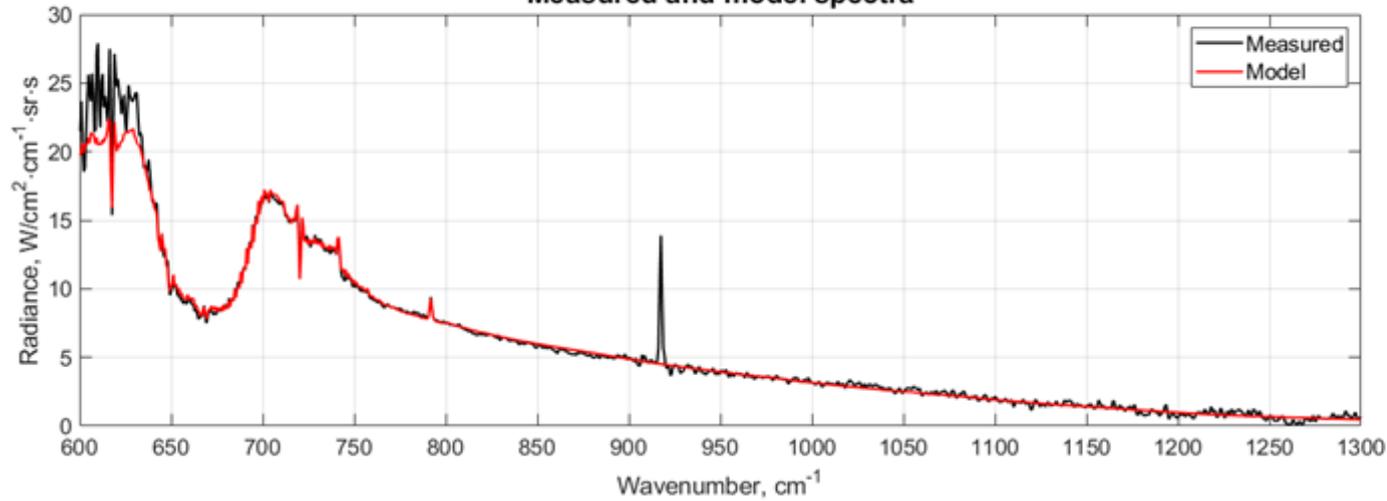
$$T_{n+1} - T_n = dT = W \times dI = W \times (I_n - I_{meas}), \quad W = S \times K^T \times (K \times S \times K^T + E)^{-1}$$

$$K_{ij} = \frac{\partial B(v_i, T(z_j))}{\partial T(z_j)} \cdot \frac{\partial t(v_i, \mu, z_j)}{\partial z_j}, \quad S_{ij} = \exp\left(-\frac{(z_i - z_j)^2}{2c^2}\right), \quad t = \exp(-\tau), \quad c \approx 0.75$$

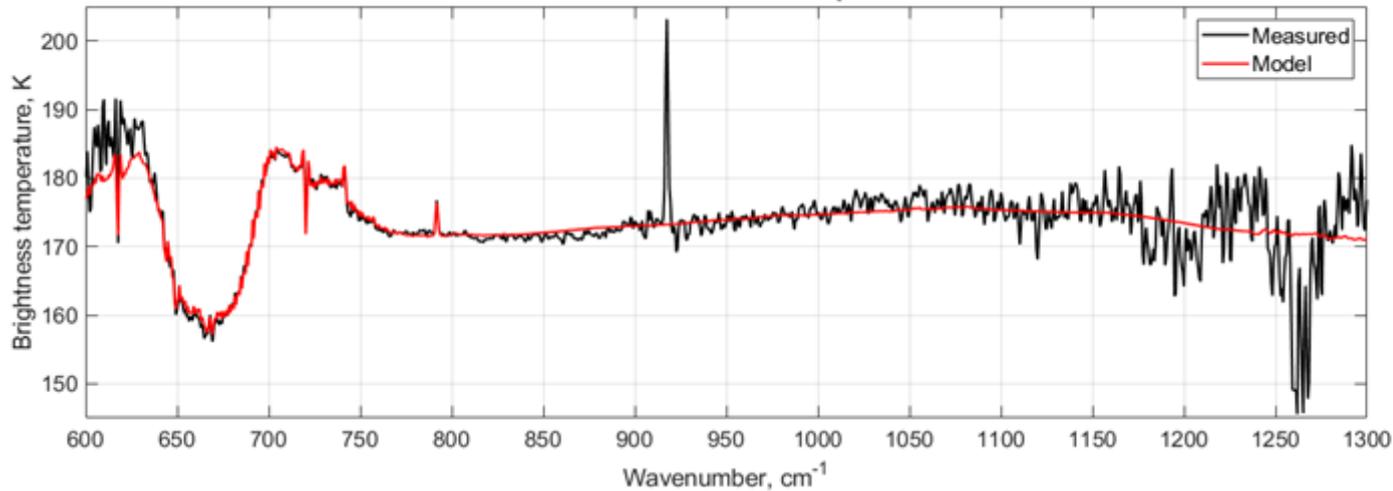
Example of retrieved temperature profile

Session 066E01-2018-096T19-08-44, id #1331744

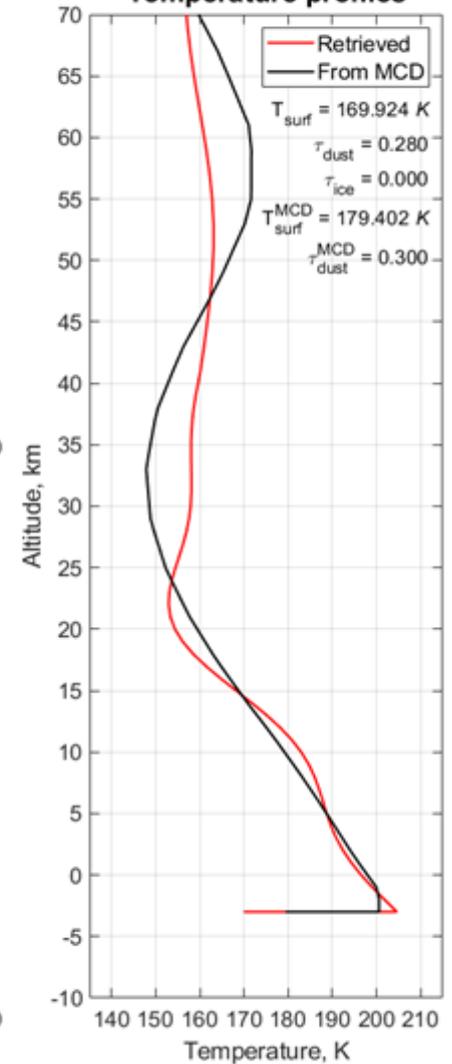
Measured and model spectra



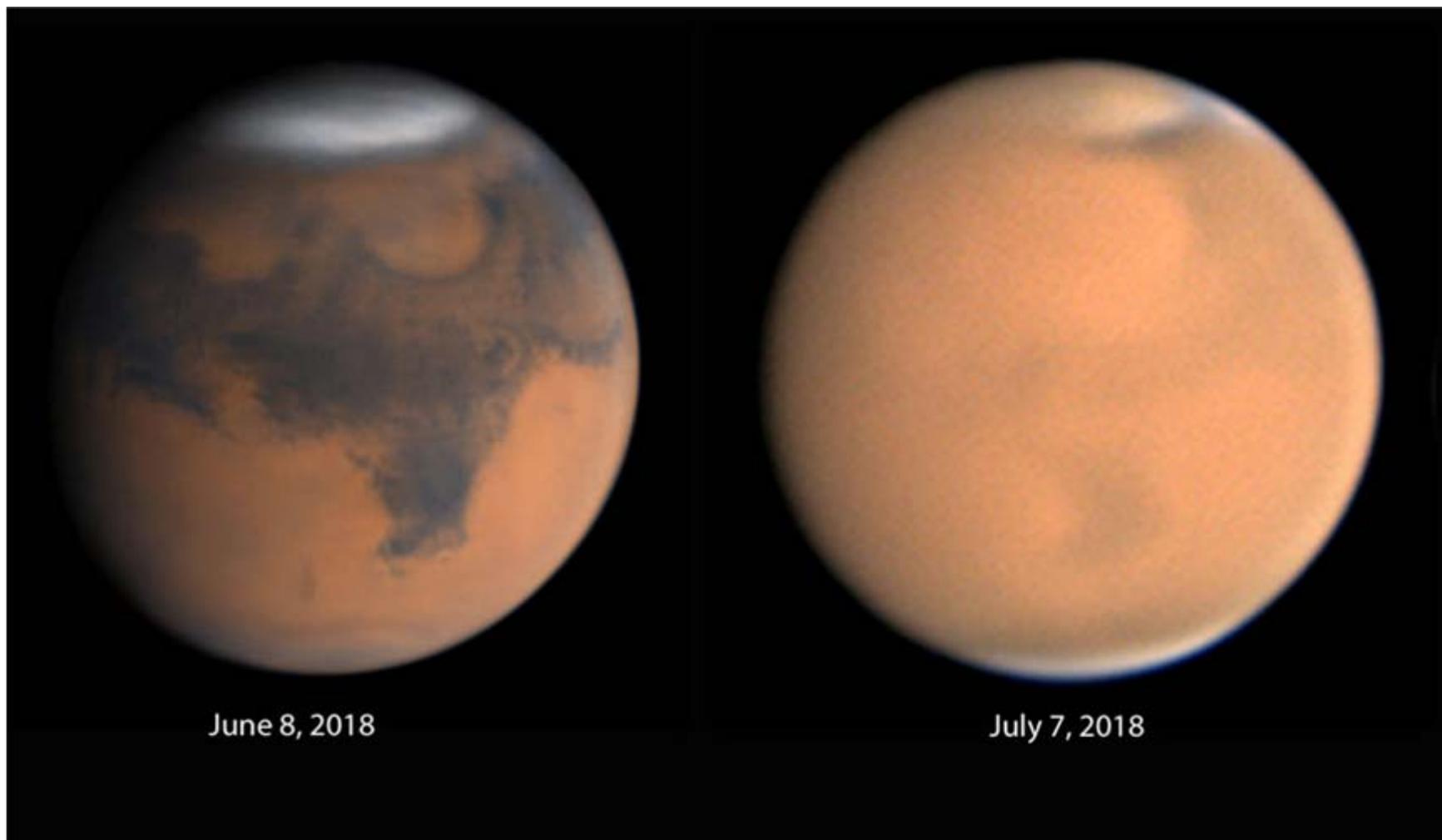
Measured and model spectra



Temperature profiles

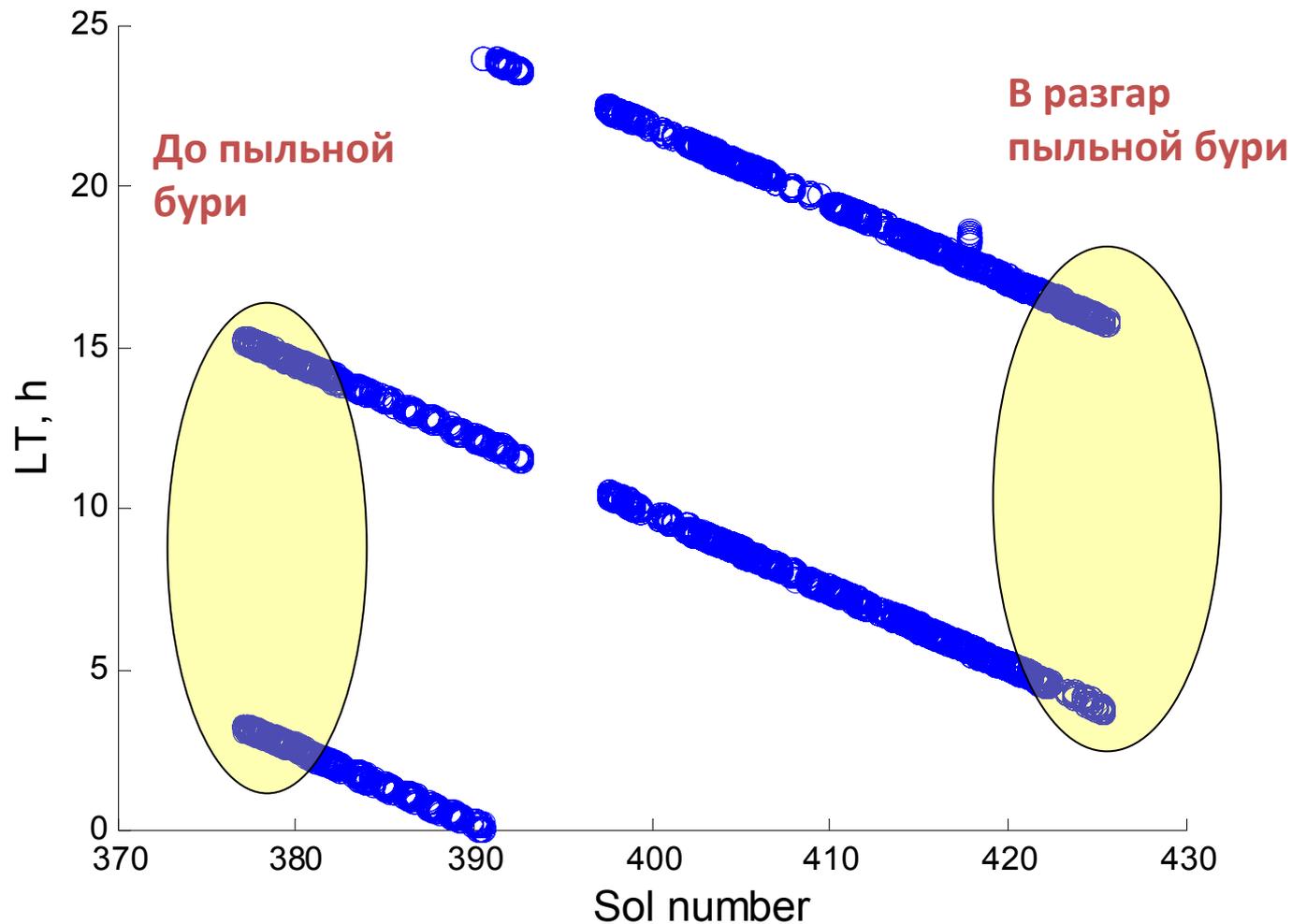


Июнь-июль 2018 г. – период мощной пыльной бури

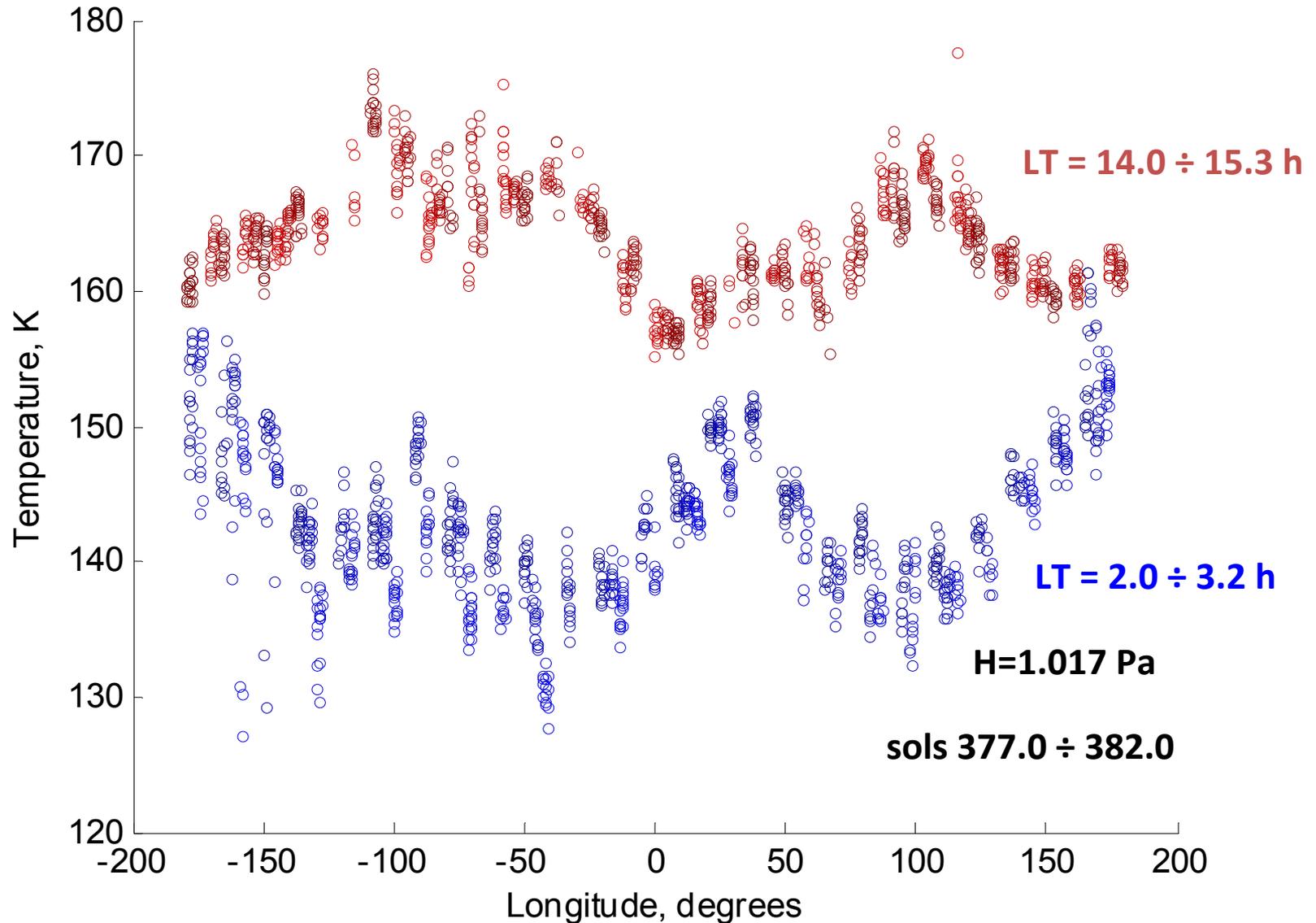


1. Суточный прилив в экваториальной
($0 \pm 5^\circ$) полосе

Изменение LT от сола к солу: в начале и конце 48-
сольного периода LT примерно одинаковы



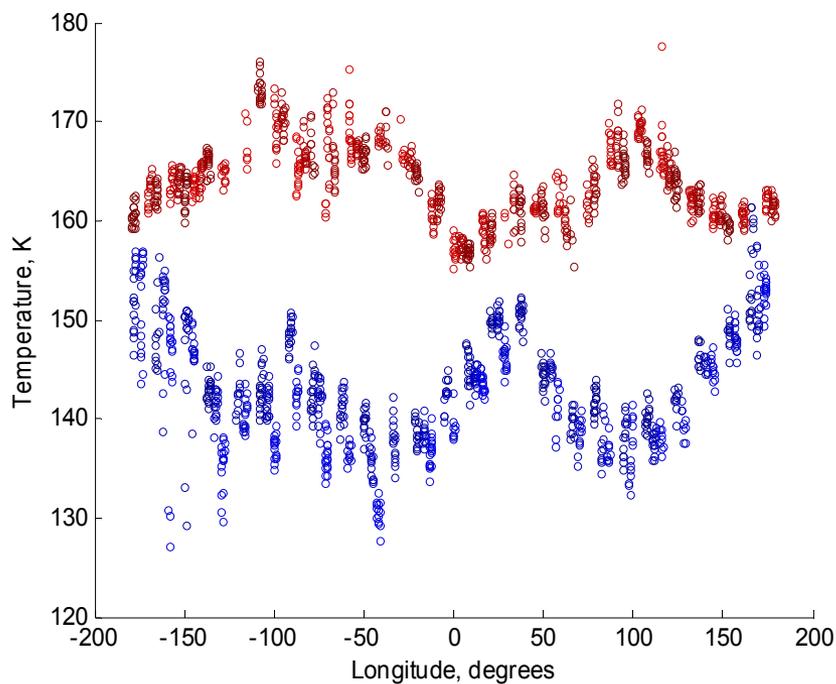
Долготная модуляция суточного прилива



Долготная модуляция уже наблюдалась в поле измеренной температуры на Марсе (Wilson, 2000) и модели термосферных осцилляций (Forbes, 2002)

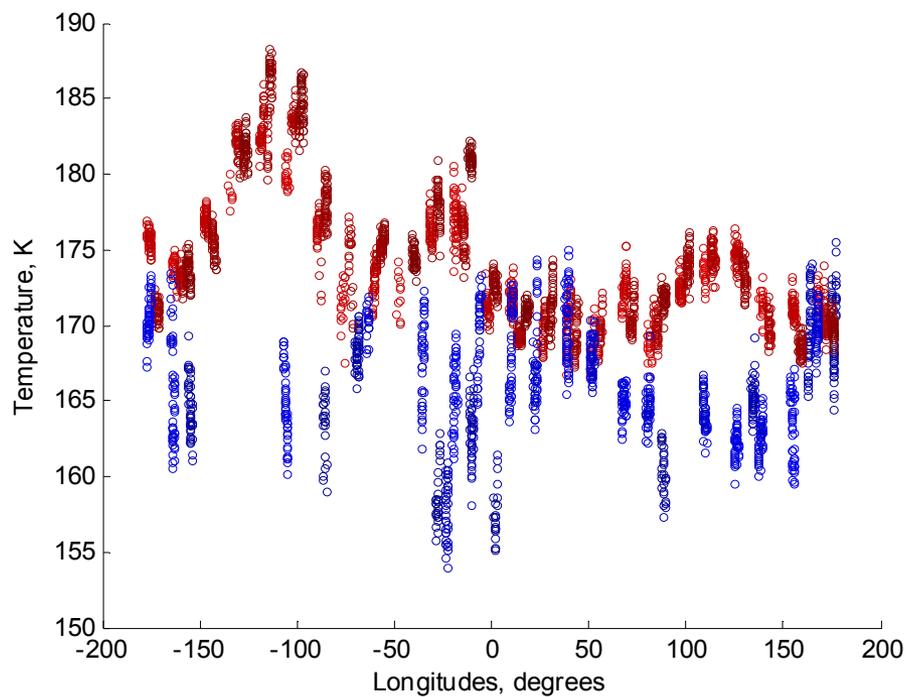
Суточный прилив - переход к пыльной буре

H=1.017 Pa
sols 377.0 ÷ 382.0



До п. бури

H=1.017 Pa
sols 420.5 ÷ 425.5



В разгар п. бури

Два способа создать долготную модуляцию суточного прилива

- Взаимодействие со
стационарной
планетарной волной

$$SPW2 \times DW1 \rightarrow DW3 + DE1$$

$$SPW3 \times DW1 \rightarrow DW4 + DE2$$

(Forbes et al., 2002)

- Волны Кельвина могут
генерироваться
распределением
источников тепла вдоль
экватора

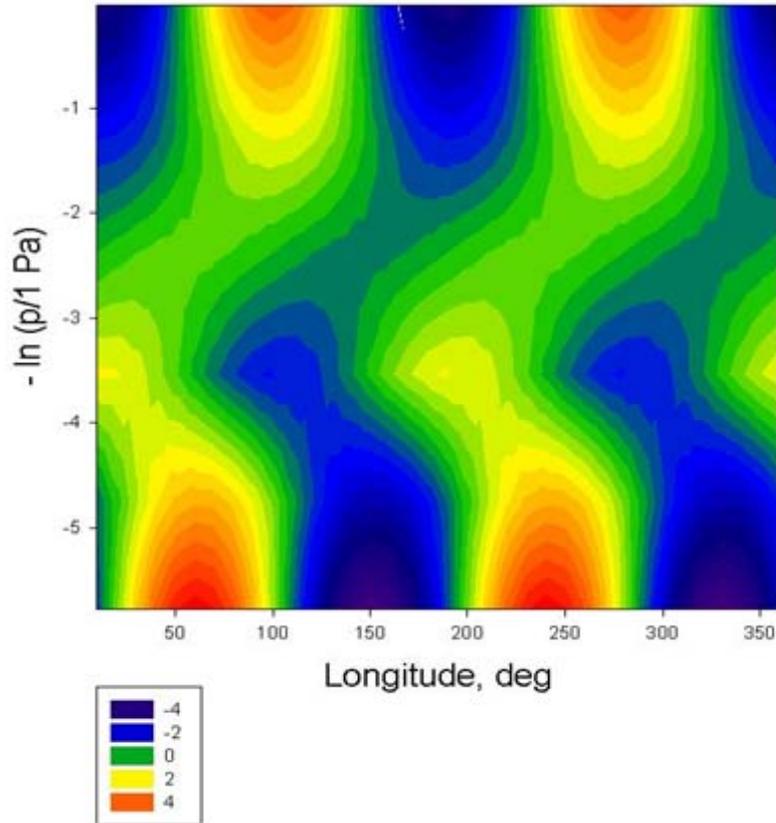
(Zurek, 1976;
Wilson & Hamilton, 1996)

В обоих случаях должны генерироваться волны,
направленные к западу и к востоку, но они могут по-разному
распространяться вверх

По данным для одного
барического уровня надежно
расцепить две встречных волны
не удастся, **однако на помощь
приходят вертикально-долготные
разрезы**

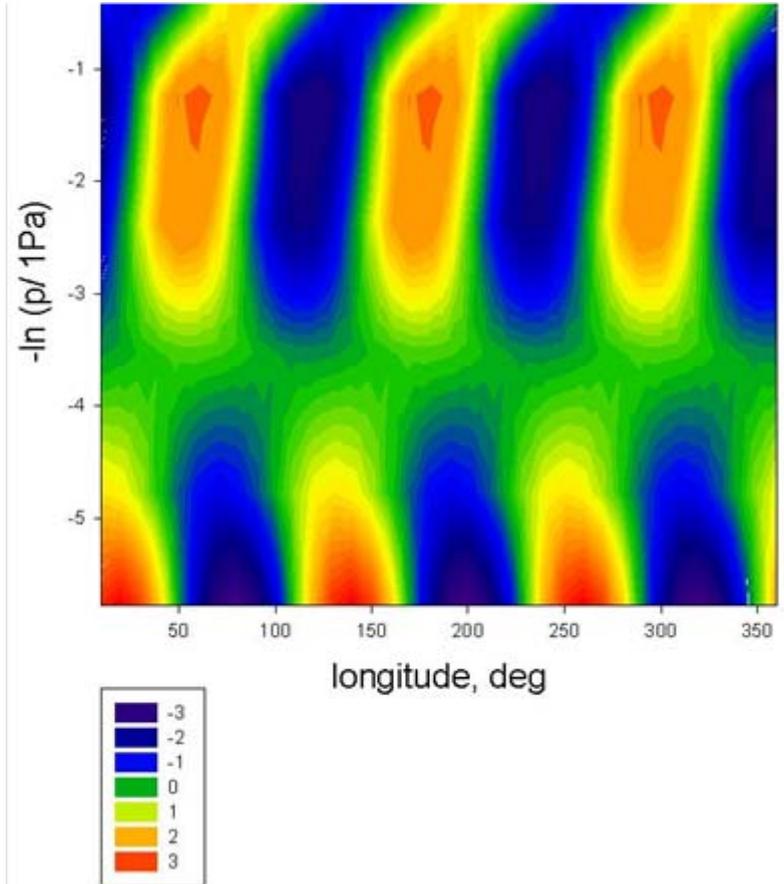
Волны с зональными волновыми числами 2 и 3 в вертикально-долготных разрезах температуры, соли 377-382

• $m=2$



$A_2 \approx 4 \text{ K}$

• $m=3$



$A_3 \approx 3 \text{ K}$

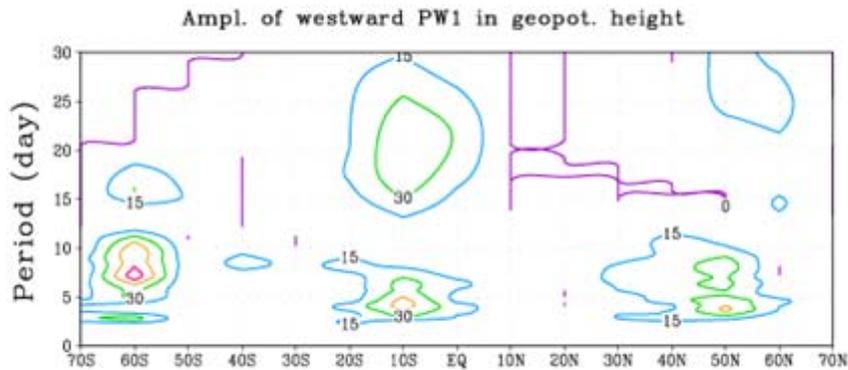
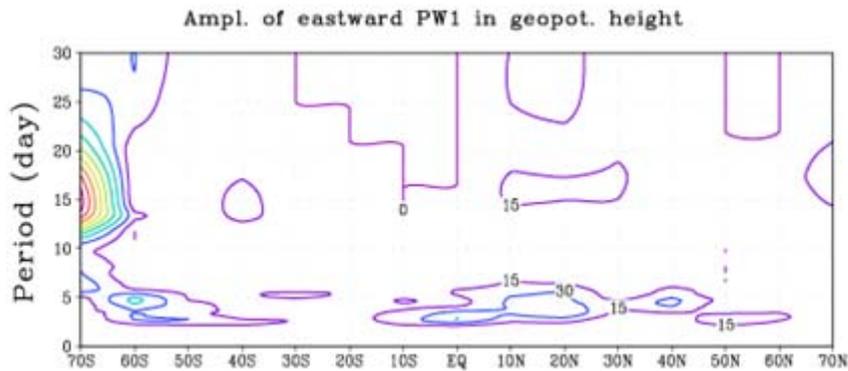
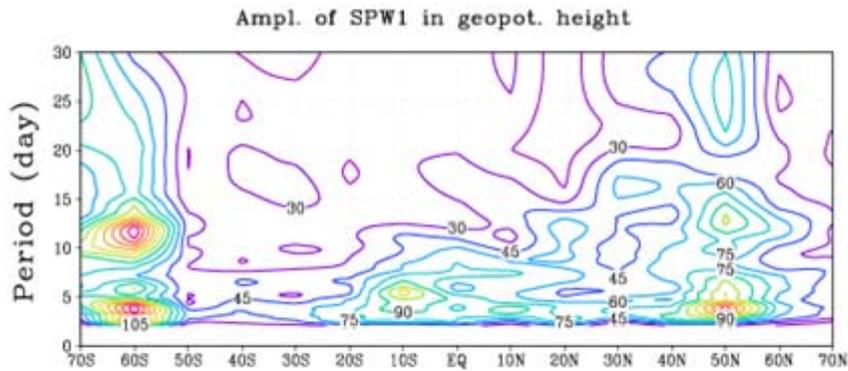
Две гипотезы, объясняющие немонотонную вертикальную структуру суточного прилива:

1. Встречные волны. Такая суперпозиция хорошо объясняет немонотонность амплитуды с высотой. Однако для генерации встречных волн требуется существование стационарных планетарных волн с $m=2$ и $m=3$ заметной амплитуды.
2. Только волны Кельвина, распространяющиеся вверх через слой сильного поглощения

2. Вейвлет – анализ: выявление планетарных волн. Амплитуда геопотенциала как функция периода волны, времени и широты. Выявляются отдельно волны, бегущие к западу, к востоку и стоячие (встречные).

Методика разделения: *Pogoreltsev, A.I., Vlasov A.A., Fröhlich K., Jacobi Ch.*
Planetary waves in coupling the lower and upper atmosphere. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 2007, 69: 2083—2101.

Осредненные за весь период времени амплитуды планетарных волн, $m=1$



Alt 30 km

Стоячие

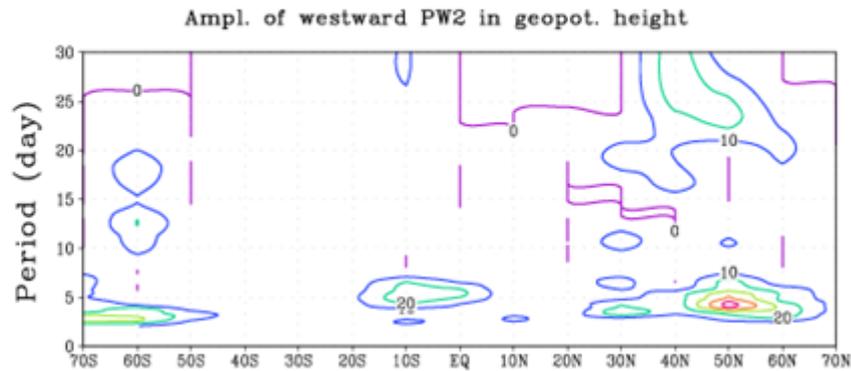
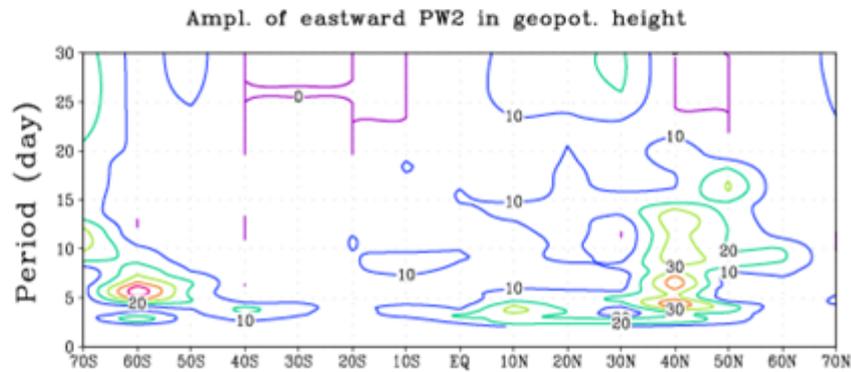
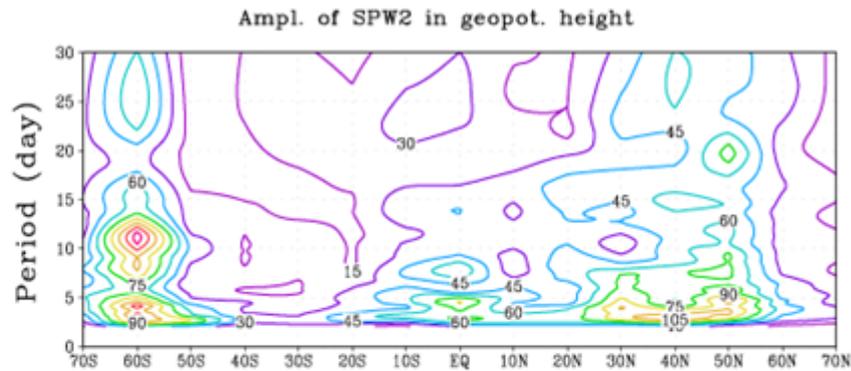
К востоку

К западу

широта

Осредненные за весь период времени амплитуды планетарных волн, $m=2$

Alt 30 km



широта

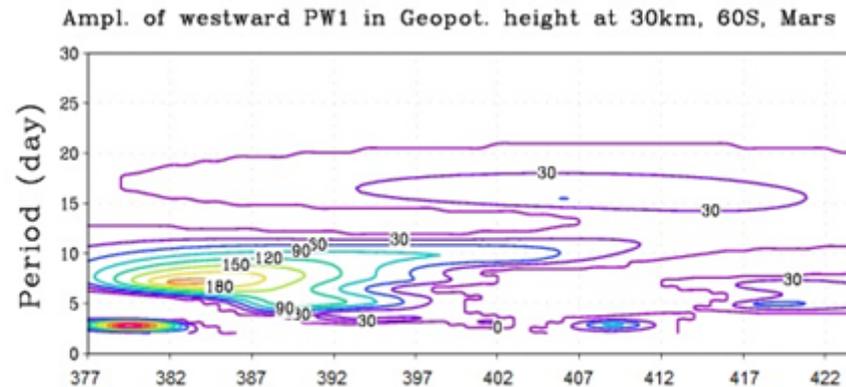
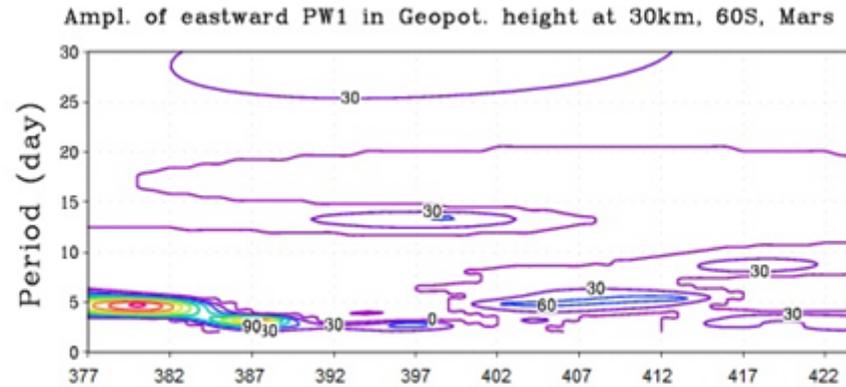
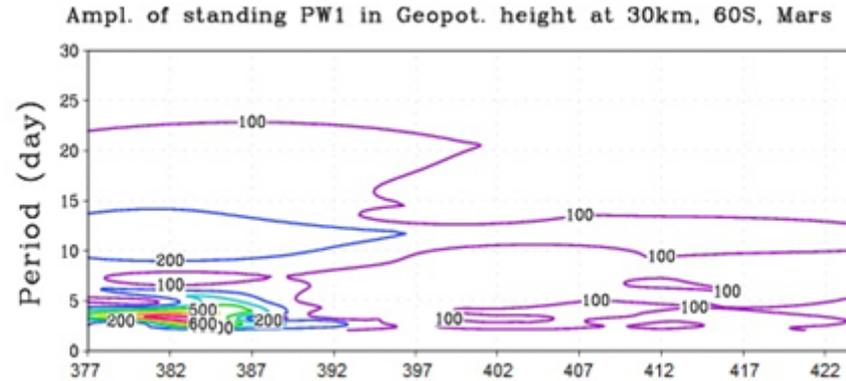
Стоячие

К востоку

К западу

Период от времени для фиксированной широты

Alt 30 km
Lat 60 S



Выводы

1. В экваториальной полосе (+/- 5 градусов от экватора) наблюдается существенная долготная модуляция суточного (период 1 сол) прилива, имеющая немонотонную структуру по вертикали. Данные позволяют выделить длины модулирующих волн с зональными волновыми числами 1-4. Во время пыльной бури долготная модуляция суточного прилива не исчезает, но амплитуды и фазы изменяются. Две рабочих гипотезы, объясняющие долготную модуляцию суточного прилива:

А. Наблюдаются стоячие волны, образованные немигрирующими компонентами суточного прилива DE1, DE2, DW3, DW4, возникающими при взаимодействии мигрирующего суточного прилива DW1 со стационарными планетарными волнами.

Б. Наблюдаются волны Кельвина DE1, DE2, амплитуды которых в нижних слоях атмосферы вначале затухают с высотой, а выше – растут.

2. Вейвлет-анализ выявил в диапазоне периодов 2-20 сол коротковсплесковый режим планетарных волн, сосредоточенных в одних и тех же узко-широтных диапазонах: приэкваториальном и в субполярных широтах обоих полушарий. Время жизни волнового пакета сравнимо с периодом волны.