



**Исследования  
Марса**

# МАРС



Размер: 0.53 Земли

Масса: 0.1 Земли

Ускор. своб. пад.:  $3.7 \text{ м/с}^2$

Орбита:  $\sim 1.52 \text{ а.е.}$

Давление:  $\sim 0.006 \text{ атм}$

Температура: от  $-150$  до  $+20 \text{ C}$

Атмосфера:  $\text{CO}_2$  (95.3%)

$\text{N}_2$  (2.7%)

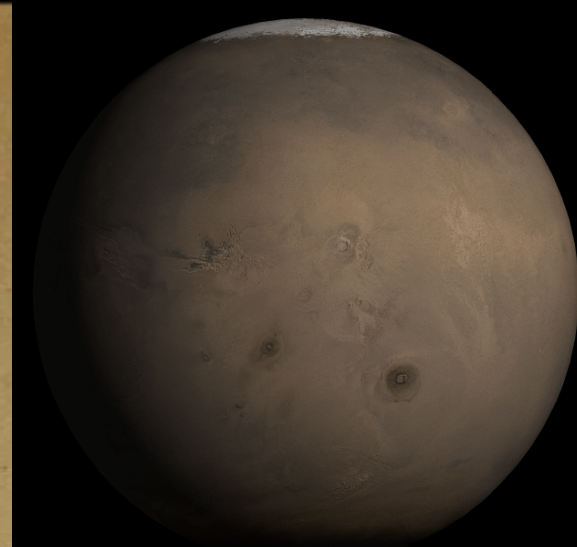
Ar (1.6%)

$\text{O}_2$  (0.13%)

Лететь до планеты: 6-9 месяцев



# Марс: наиболее близкая по климатическим параметрам к Земле планета



- Давление = 6 mbar , 95% CO<sub>2</sub>  
(меняется с сезоном из-за конденсации атмосферы)
- Средняя температура поверхности = -50°C
- Мало воды в атмосфере = несколько осажденных мкм, **большие** резервуары в полярных шапках и грунте
- Аэрозоль в атмосфере ( $\tau \sim 0.2$ ) :
  - Пыль с поверхности → сильный разогрев атмосферы
  - Глобальные пылевые бури
  - Ледяные конденсационные облака (H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>) (cirrus type)
- Циркуляция земного типа:
  - Ячейка Хэдли в солцестояниях
  - Сильные волновая активность на средних и высоких широтах осенью и зимой

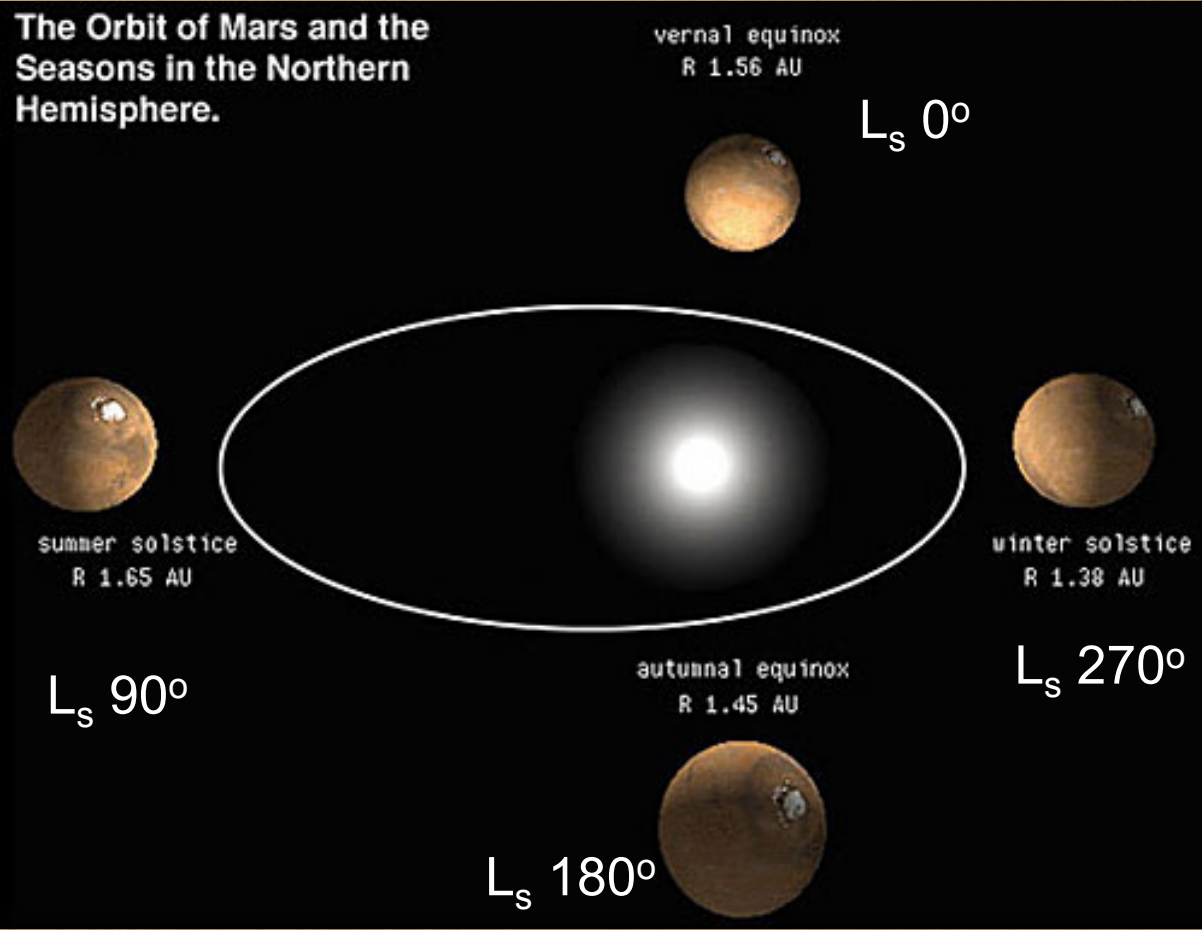
	Земля	Марс
Масса, xTerr	1	0.107
g, м/с <sup>2</sup>	3.711	9.82
Плотность, г/см <sup>3</sup>	5.515	3.933
Альbedo	0.3	0.15
T равновесн. К	255	214
T пов-ти, К	<b>288</b>	<b>218</b>
Давление, бар	<b>1</b>	<b>0.0061</b>

	Земля	Марс
Большая полуось, а.е.	1	1.524
Наклон оси	23.45°	25.19°
Эксцентриситет	0,0167	0,0934

# Времена года на Марсе

определяются ареоцентрической долготой Солнца

Весеннее равноденствие в северном полушарии



Афелий  
Летнее  
солнцестояние

Перигелий  
Зимнее  
солнцестояние

Марсианское  
летоисчисление  
С 1 апреля 1955 г.  
MY – Martian Years  
1955-1956 MY1  
2004-2005 MY27

Clancy et al., 2000

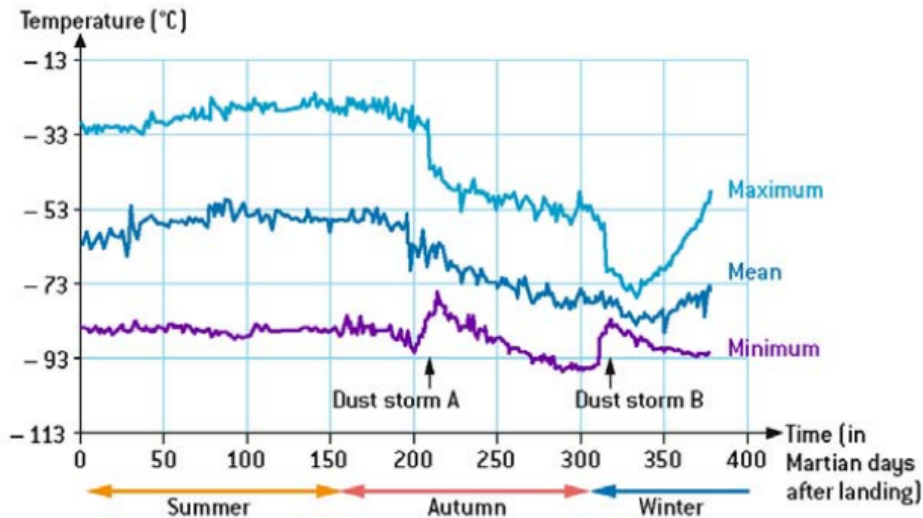
Осеннее равноденствие в северном полушарии



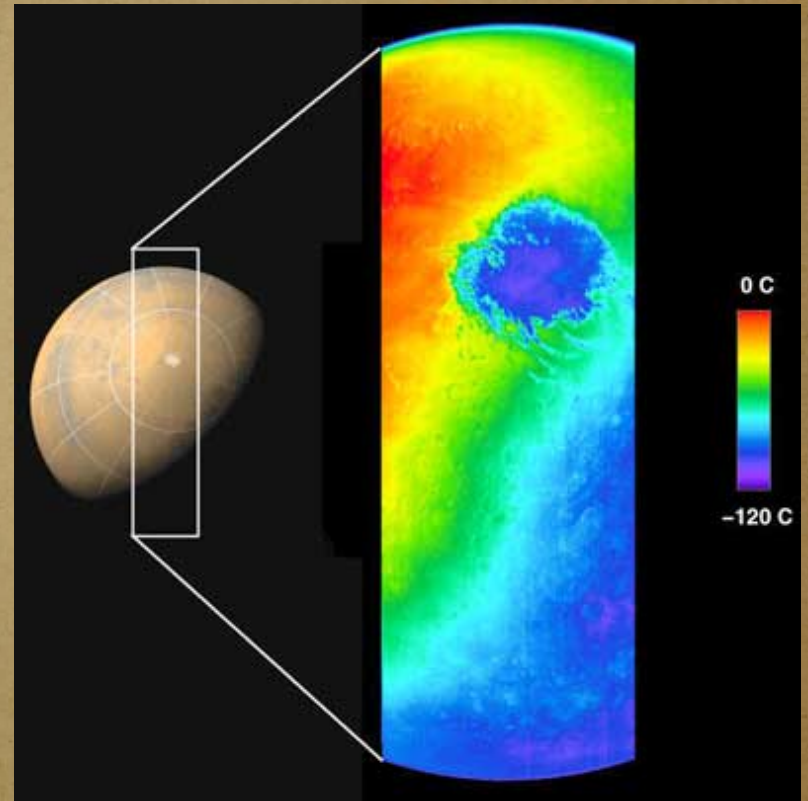
# Температура поверхности

## «Гиперконтинентальный» климат

- Вариации температур от 20°C около полудня до -100°C ночью
- Низкая тепловая инерция поверхности по сравнению с Землей и ее океанами. Слабая атмосфера. Сильные суточные вариации температуры
- Летом полярные области нагреваются сильнее и температура падает к экватору
- В равноденствие температура падает от экватора к полюсам



Викинг 1: Температура Марса у поверхности 1,6 м, 22N,



Карта температур южного полюса Марса перед летним солнцестоянием по данным ИК камеры THEMIS/Марс-Одиссей



# Поверхность Марса. Снимок с марсохода Spirit

Fe 12-14%

Si 20%

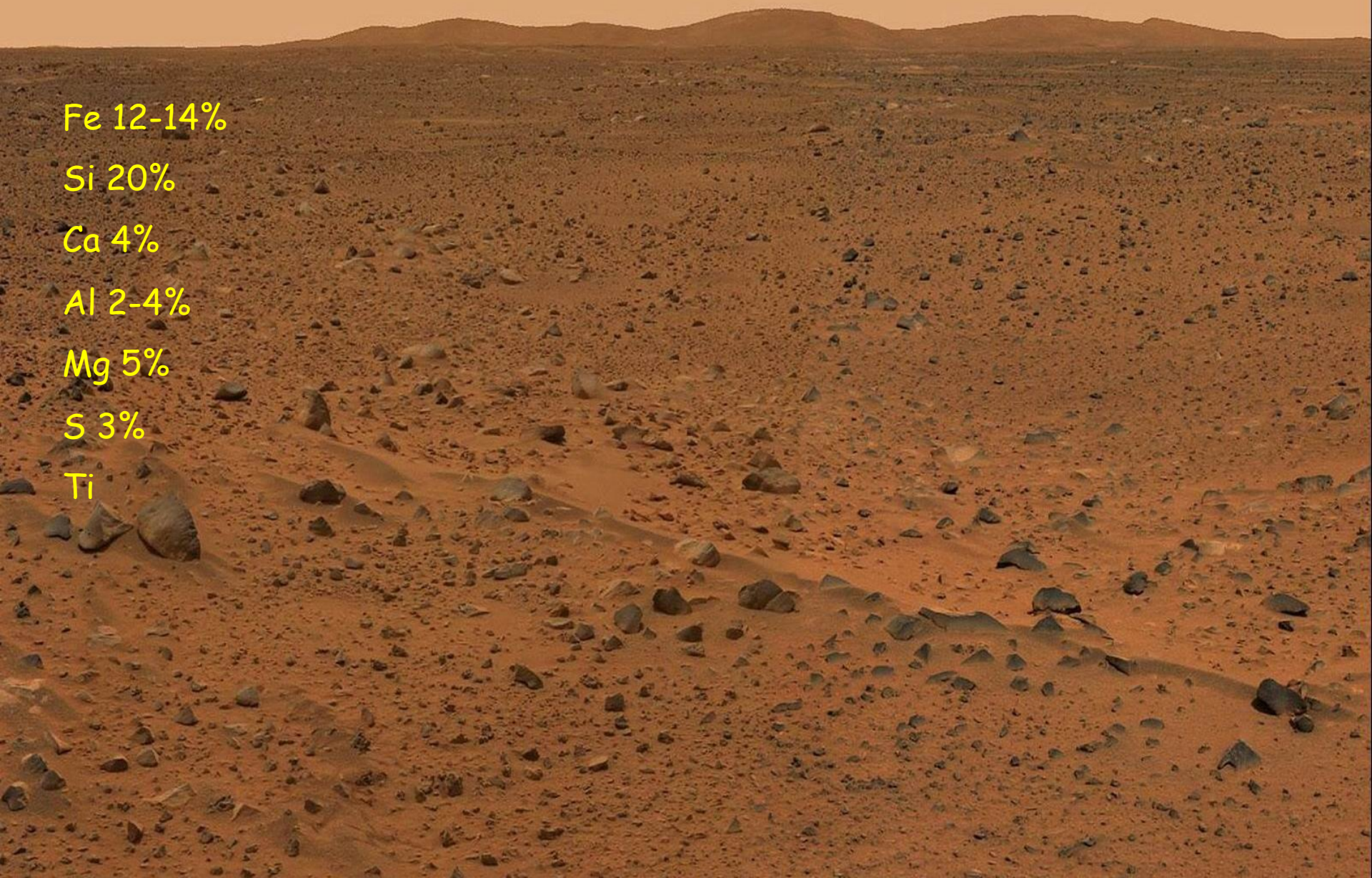
Ca 4%

Al 2-4%

Mg 5%

S 3%

Ti

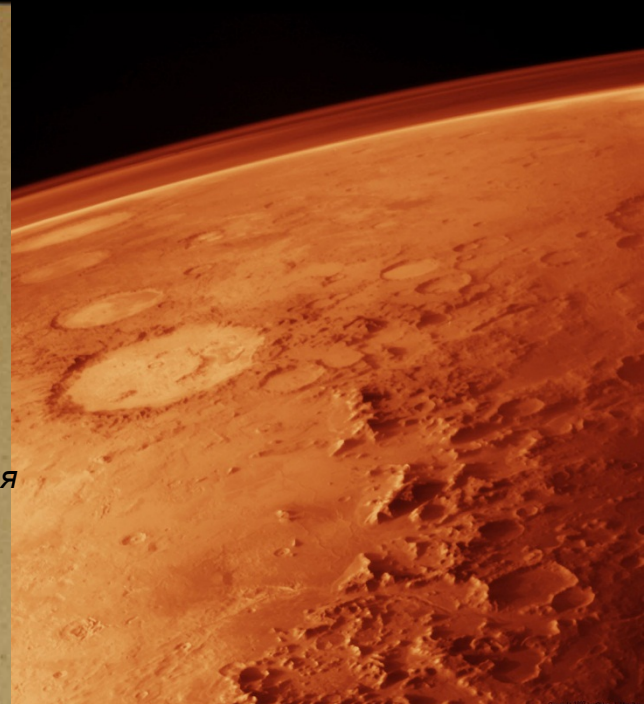




# Состав атмосферы Марса

Газ	Марс	Земля
CO <sub>2</sub>	95,3%	0,035%
N <sub>2</sub>	2,6%	78%
Ar	1,6%	0,93%
O <sub>2</sub>	0,13%	20,6%
CO	0.07%	2 · 10 <sup>-5</sup> %
H <sub>2</sub> O	10 <sup>-4</sup> -0,1%	~0,4%
O <sub>3</sub>	3 · 10 <sup>-6</sup> %	1 · 10 <sup>-5</sup> %
CH <sub>4</sub>	1 · 10 <sup>-6</sup> %	1.75 · 10 <sup>-4</sup> %

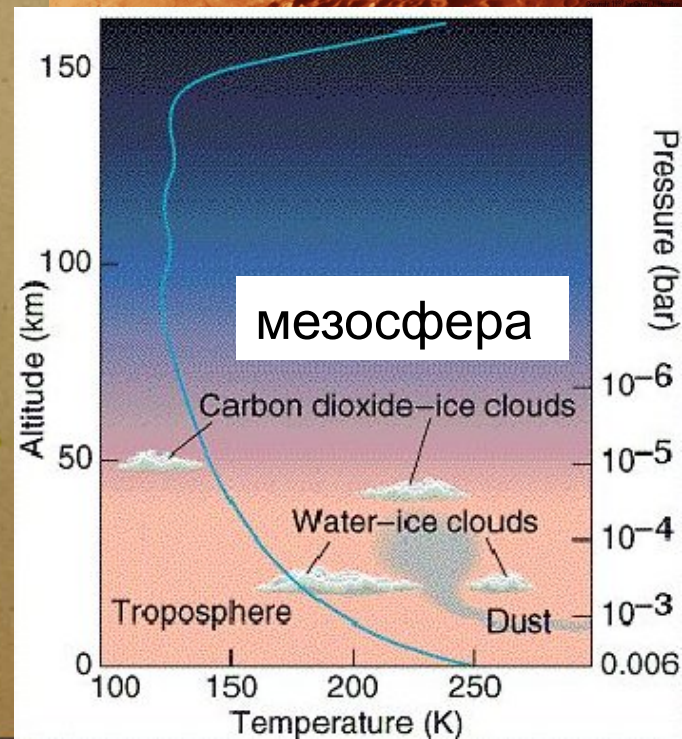
Марсианская атмосфера над бассейном Аргуте, фотография Викинга



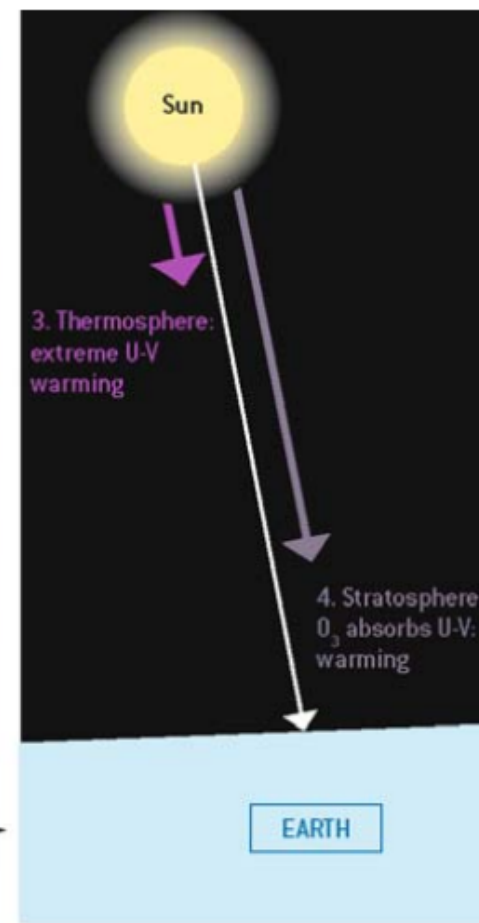
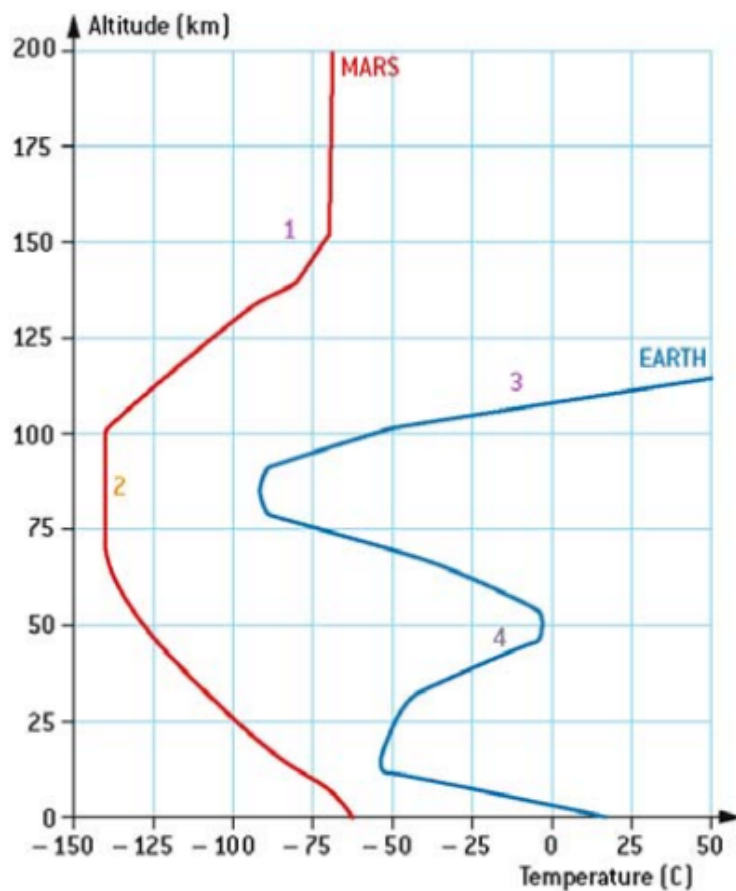
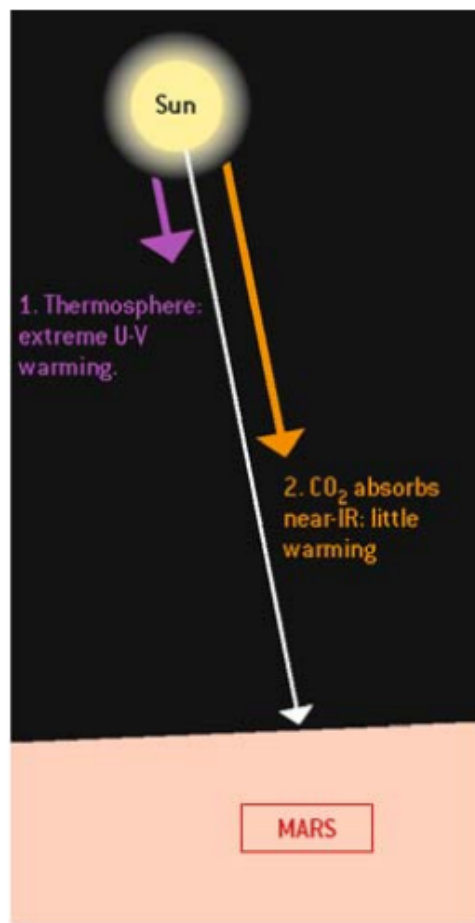
## Основные циклы:

- 1) Цикл углекислого газа
- 2) Водяной цикл
- 3) Пылевой цикл

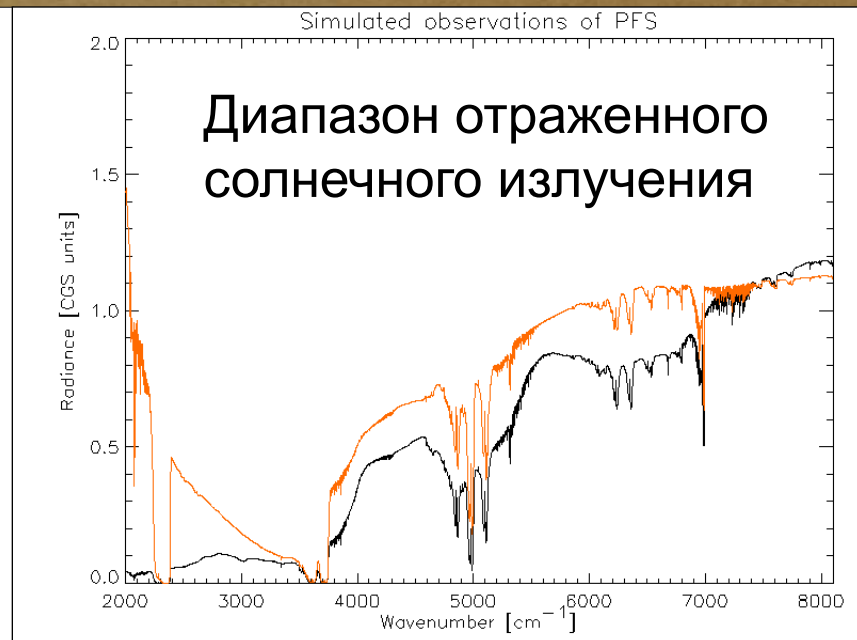
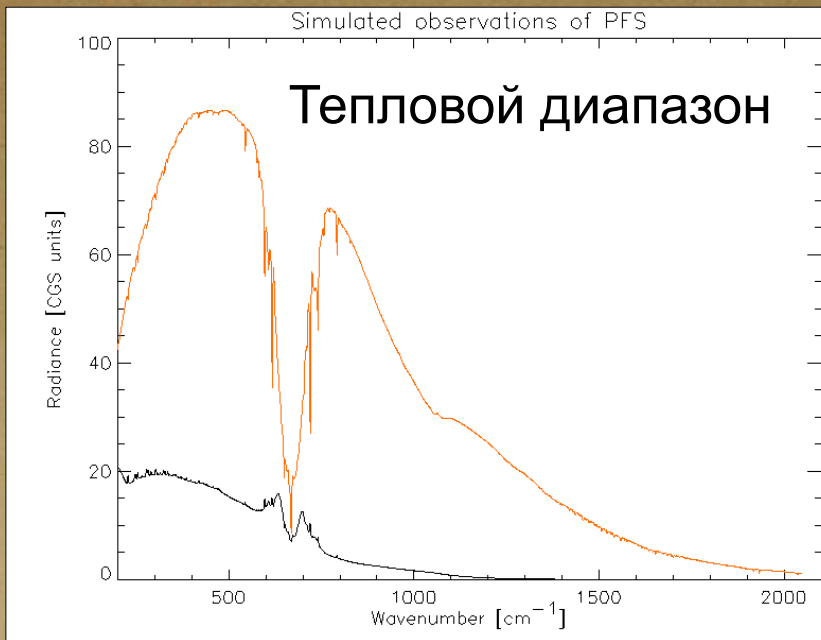
Температурный  
профиль



# Температурный профиль

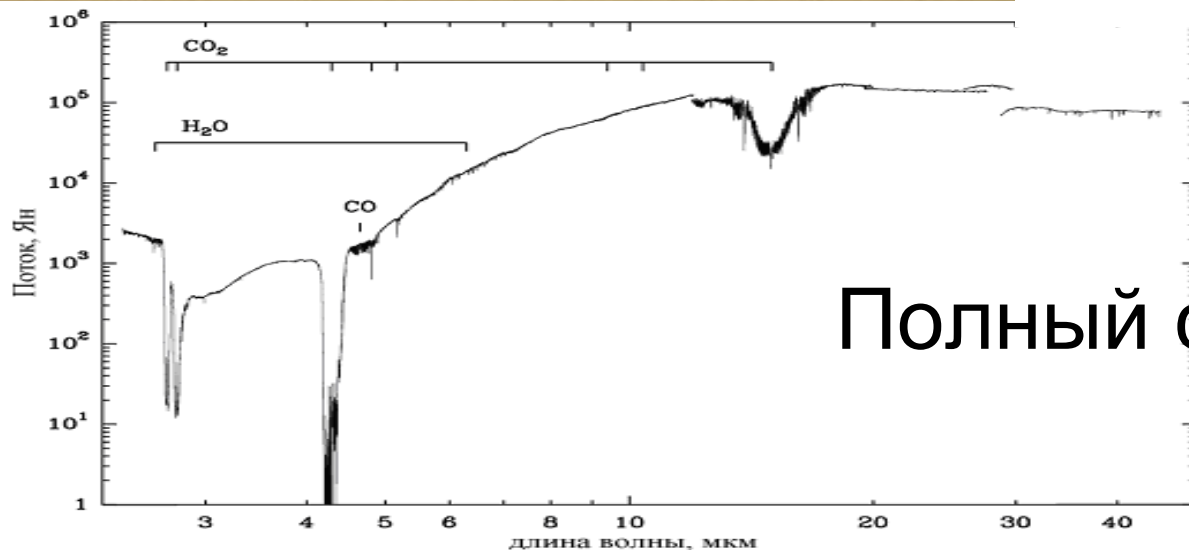






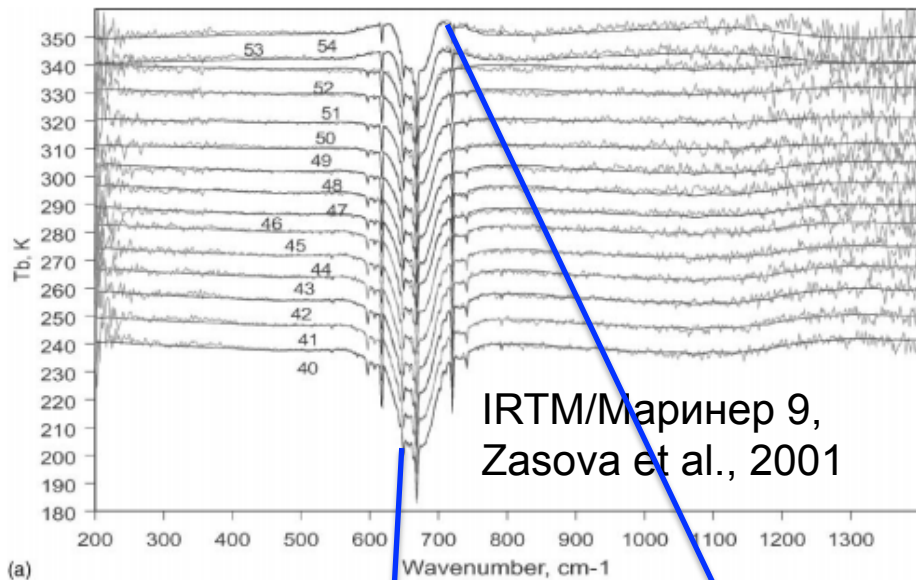
$$I_v = \varepsilon_v B_v(T_s) e^{\frac{\tau_{\max}}{\cos\theta}} + \int_0^{\tau_s} B_v(T(\tau_v)) e^{\frac{\tau_v}{\cos\theta}} d(\tau_v / \cos\theta)$$

$$I_v = \frac{F_v^0 \cos\theta_0}{\pi} \cdot A_v \cdot e^{-\tau_v \left( \frac{1}{\cos\theta_0} + \frac{1}{\cos\theta} \right)}$$

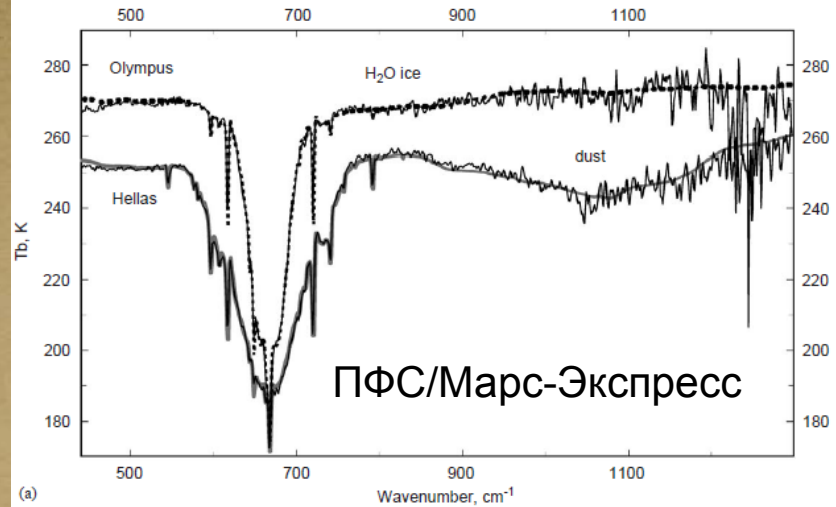
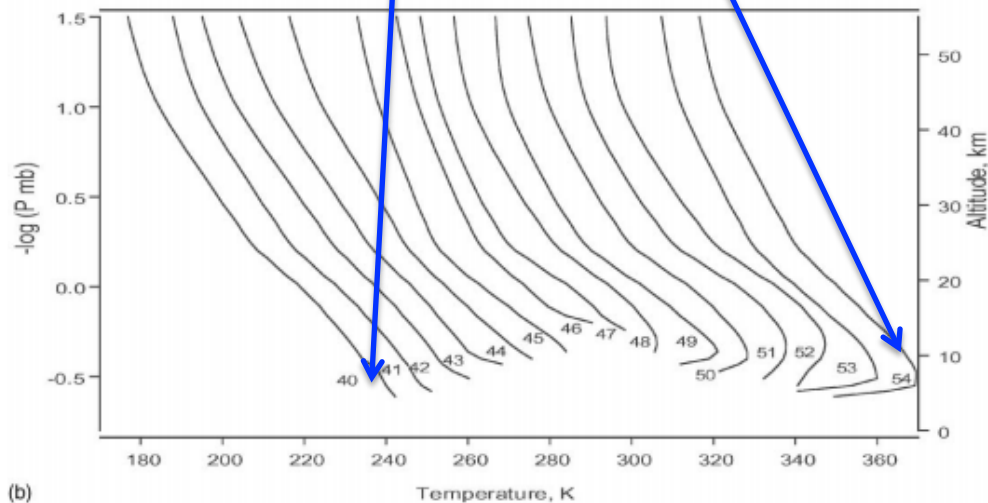


Полный спектр Марса

# Спектроскопические методы измерения температуры



(a)



(a)

Полоса 15 мкм CO<sub>2</sub>

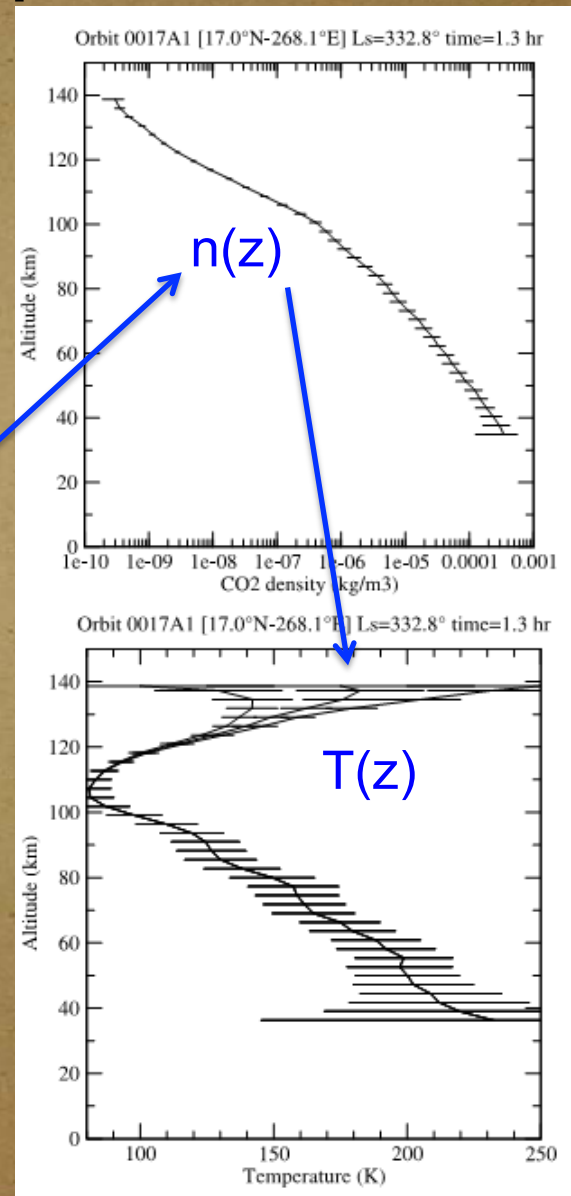
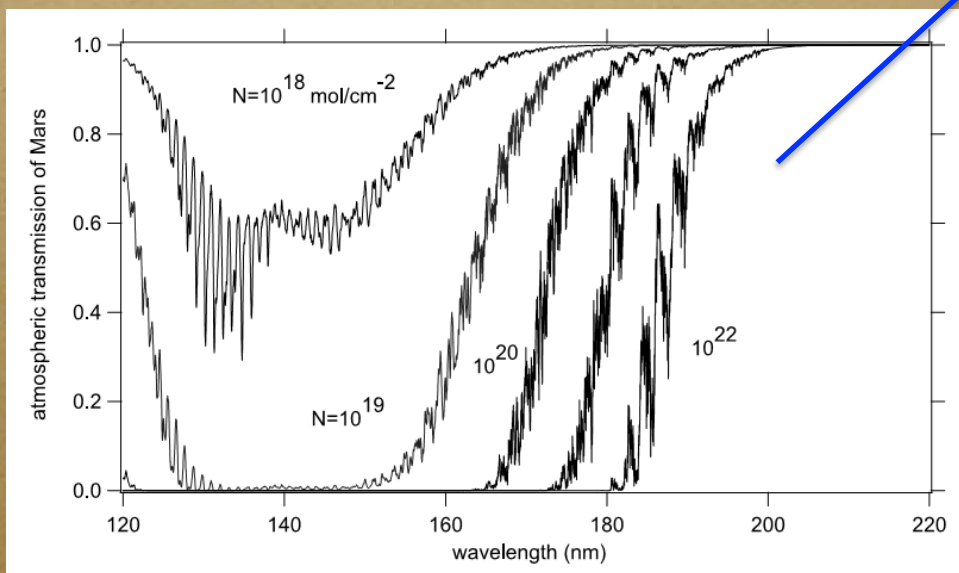
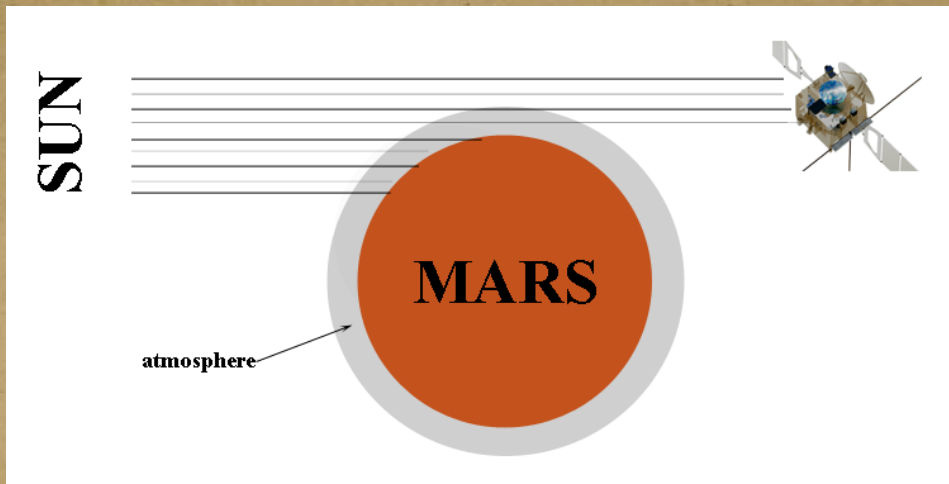
Измерение вертикального профиля температуры

$$I_v = \varepsilon_v B_v(T_s) e^{-\frac{\tau_{\max}}{\cos\theta}} + \int_0^{\tau_s} B_v(T(\tau_v)) e^{-\frac{\tau_v}{\cos\theta}} d(\tau_v / \cos\theta)$$



# Спектроскопические методы измерения температуры в УФ

Полоса поглощения  $\text{CO}_2$  100-180 нм



# Основные циклы

Цикл углекислого газа

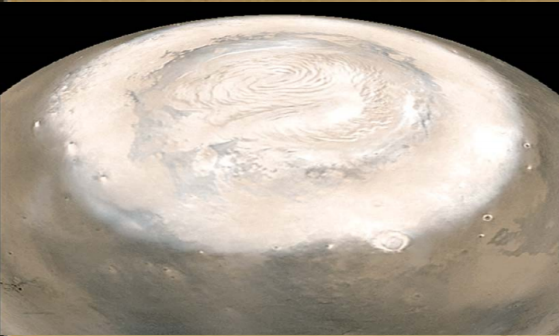
Цикл водяного пара

Пылевой цикл



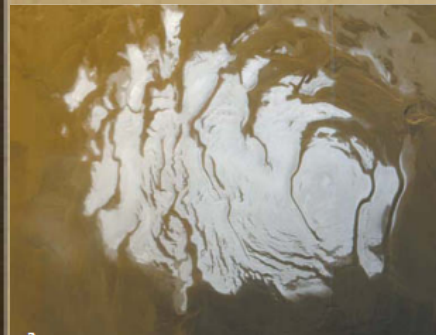
# Конденсируемая атмосфера

Сублимация южной полярной шапки как функция температуры

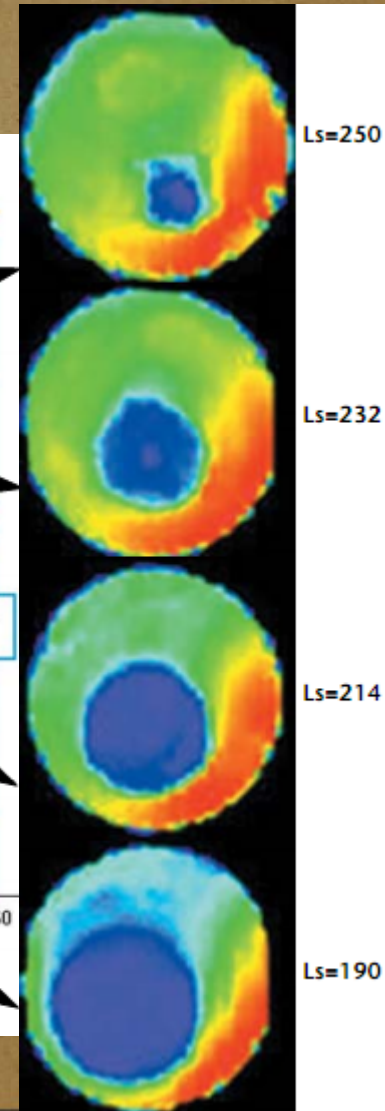
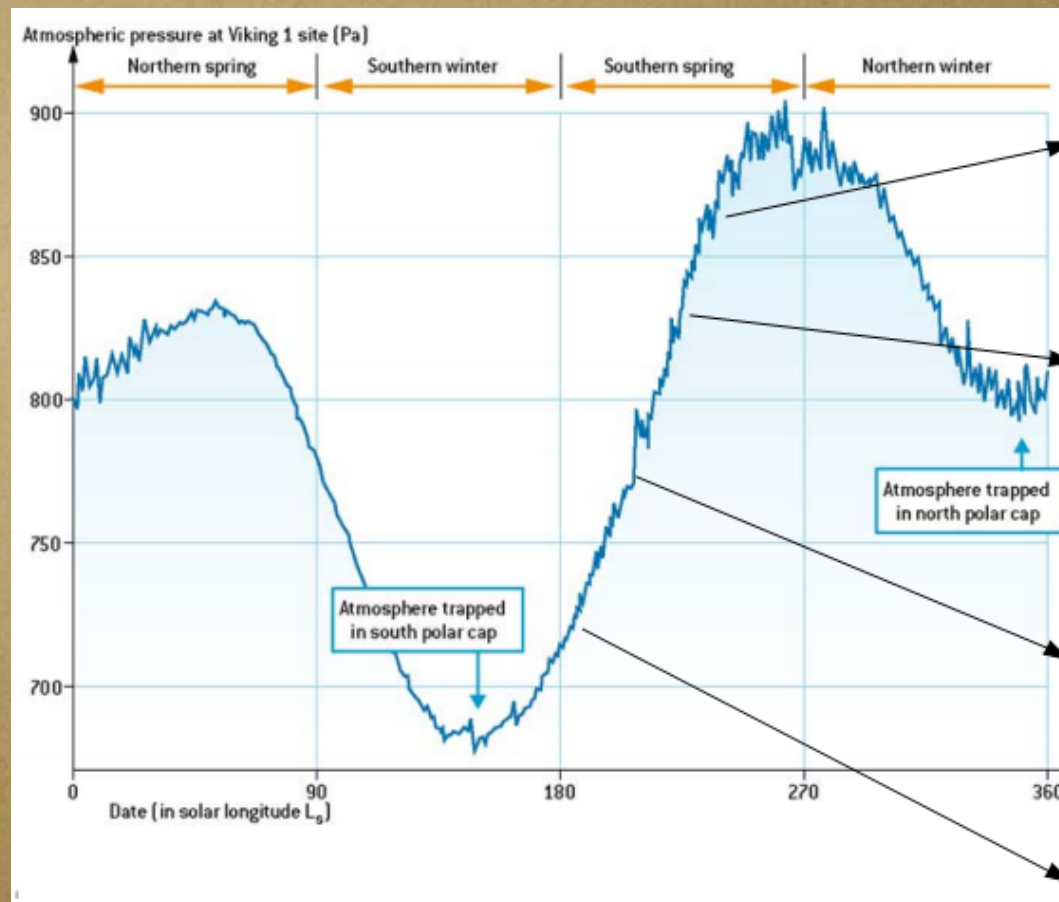


Сезонная северная полярная шапка CO<sub>2</sub>

Температура падает ниже -140°C



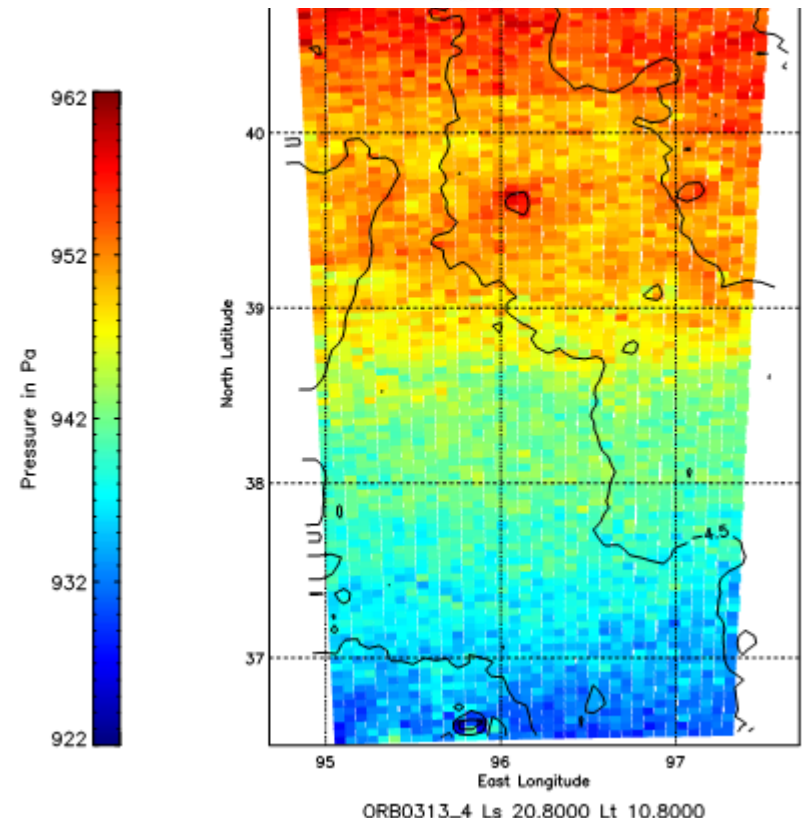
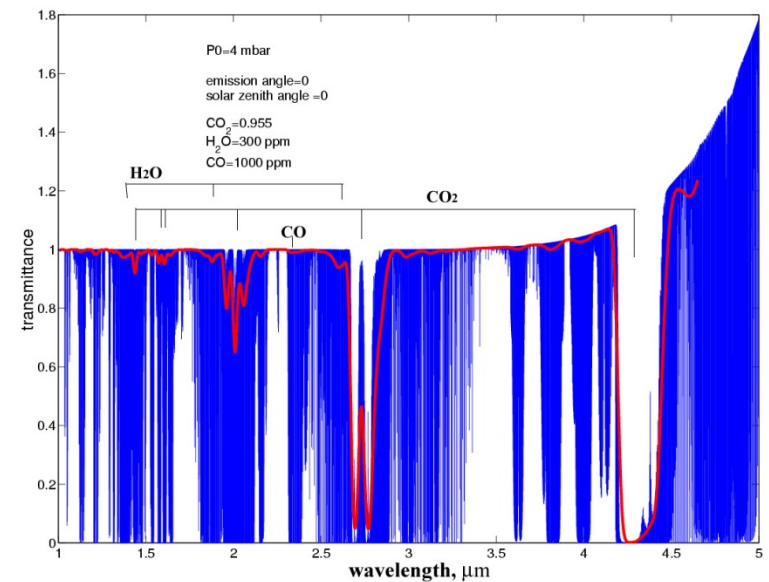
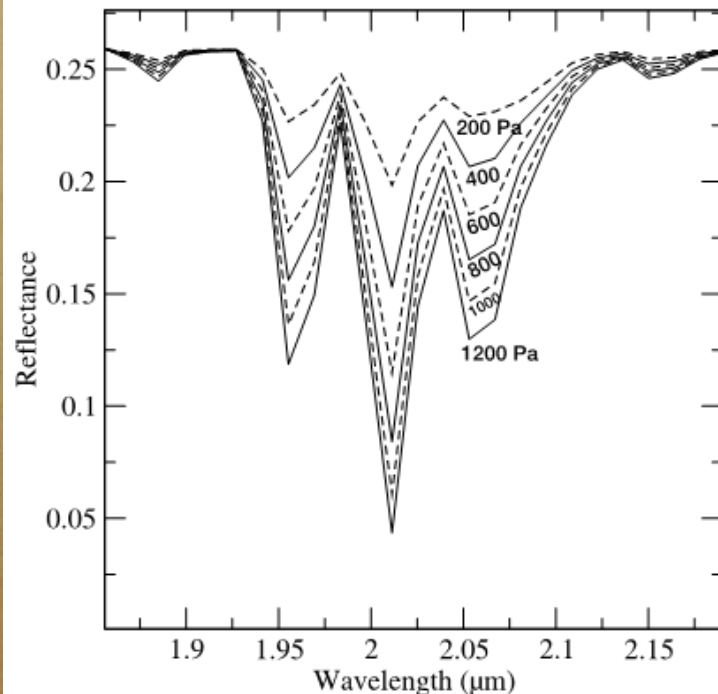
Постоянная южная полярная шапка CO<sub>2</sub>



# Спектроскопия CO<sub>2</sub>, давление у поверхности

Полосы по мере увеличения  
поглощения 1.43, 2.0, 2.7 и 4.3 мкм

Чувствительность полосы 2 мкм  
к давлению у поверхности





# Основные циклы

Цикл углекислого газа

**Водяной цикл**

Пылевой цикл



# Вода на Марсе

Резервуары воды:

Атмосферный резервуар

- водяной пар
- атмосферные облака

Поверхностные резервуары

- иней на поверхности
- лед

Подповерхностный лед

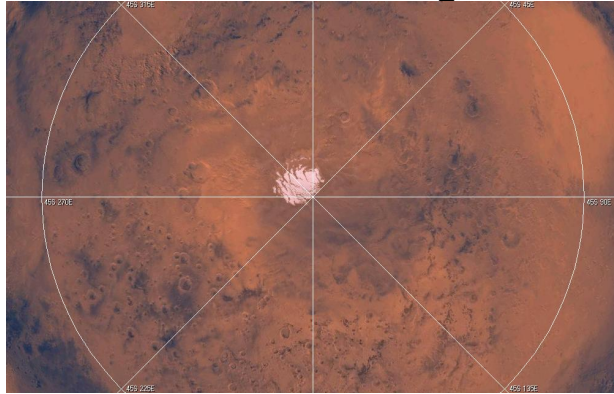
Глобальное содержание водяного пара всего 10-20 осажденных микрон воды → 1-2 км<sup>3</sup>

Но он на прямую связан с другими резервуарами воды и он может быть надежно измерен, кроме того сейчас ведется фактически непрерывный мониторинг

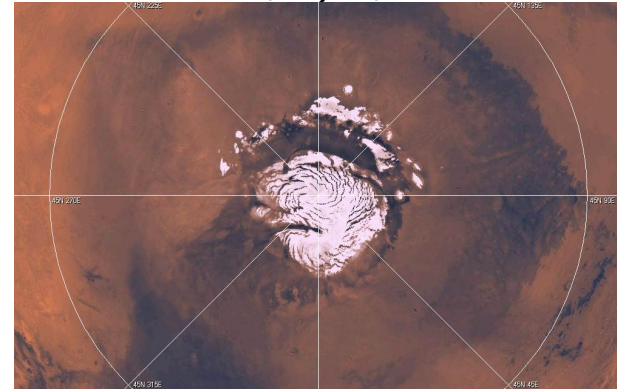
# Асимметрия между полушариями

## Perennial polar caps

South (CO<sub>2</sub>)



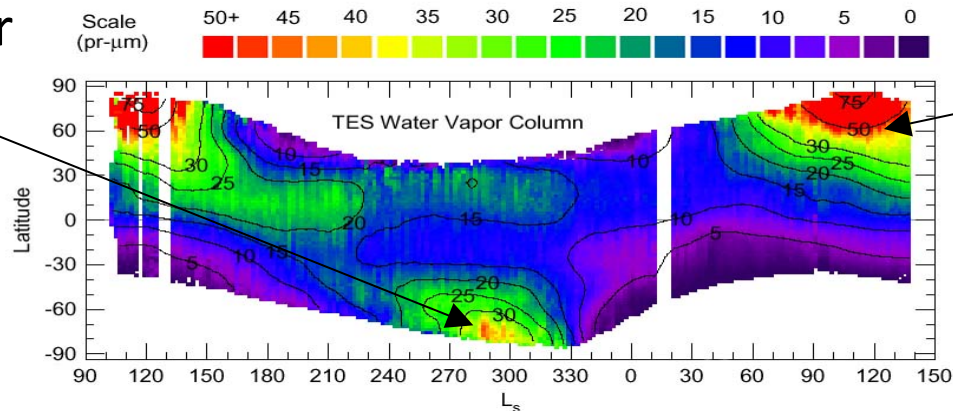
North (H<sub>2</sub>O)



## Seasonal cycle of atmospheric water

Southern summer  
(perihelion)

Всего 10-20  
осажденных  
микрон воды – 1-2  
м<sup>3</sup> льда!



Northern summer  
(aphelion)

По идее водяной пар должен возвращаться к северной шапке, но есть одна холодная ловушка – это южная полярная шапка (путешествие в один конец, с северного в южное полушарие)



# Спектроскопия воды

Единицы измерения: 1 осажд.мкм =  $10^{-4}$  гр  $H_2O/cm^2 = 3.35 \cdot 10^{18}$  молекул/ $cm^2$

Солнечный диапазон:

Полоса 0.82 мкм

Астрономические наблюдения  
Впервые водяной пар на Марсе  
был обнаружен Spinrad et al. (1963)

Полоса 1.38 мкм MAWD, СПИКАМ

Полоса 2.56 мкм PFS, ОМЕГА

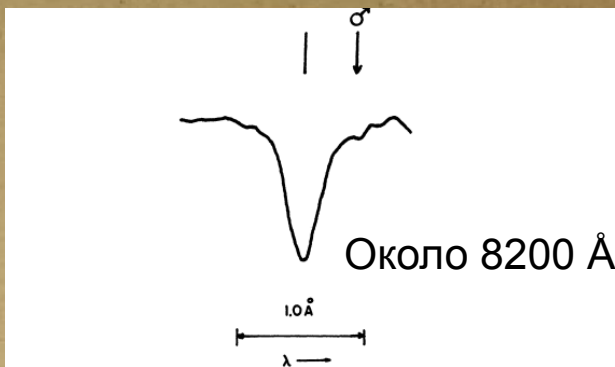
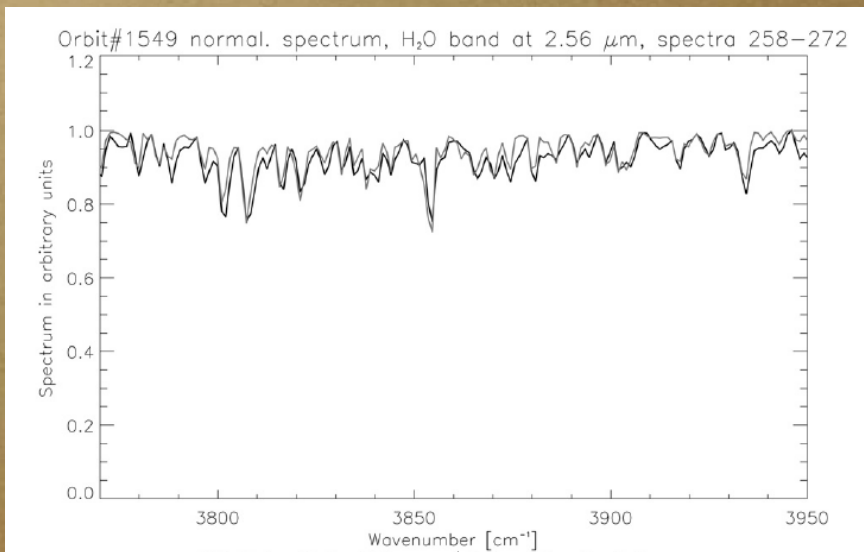
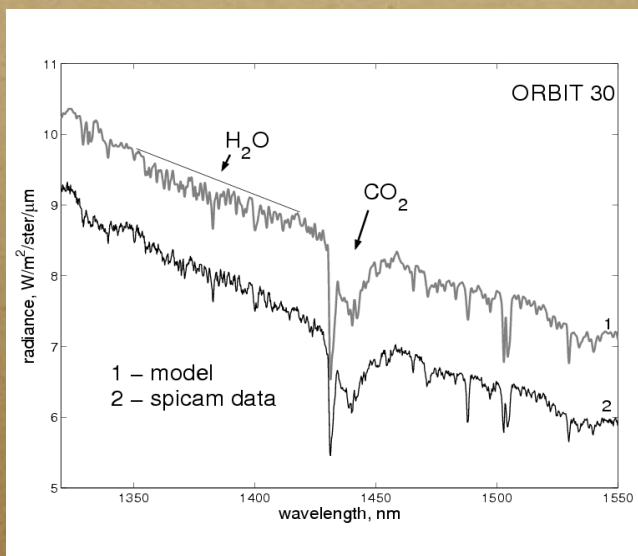


FIG. 2.—The averaged profile of the four  $H_2O$  lines shown in Fig. 1. The calculated position of the rtran  $H_2O$  line is indicated by the arrow below the Mars symbol; the faint Mars water-vapor line is ble there.

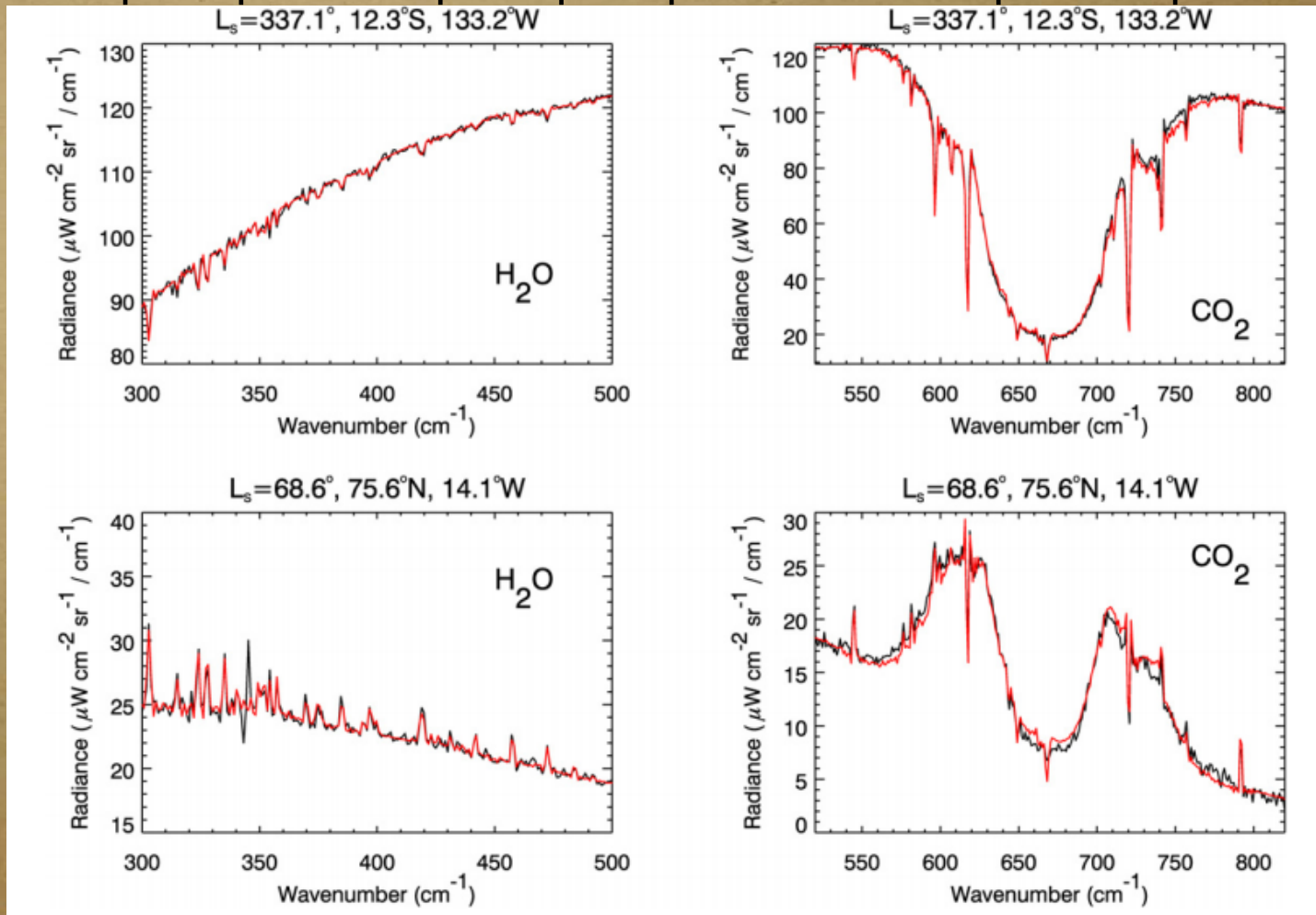


# Спектроскопия воды

Тепловой диапазон: полоса 20-40 мкм

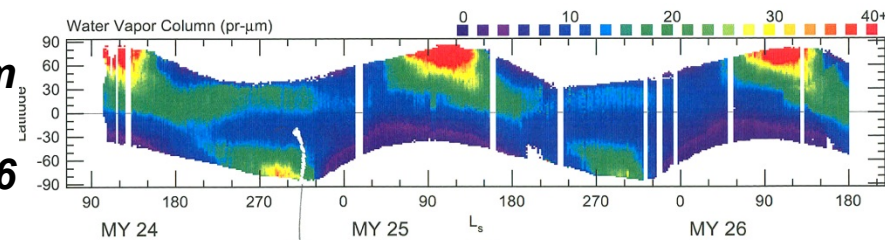
Самые известные приборы измерявшие воду в этом спектральном диапазоне  
TES на Mars-Global Surveyor, PFS на Марс-Экспресс

Примеры спектров прибора ПФС на Марс-Экспресс



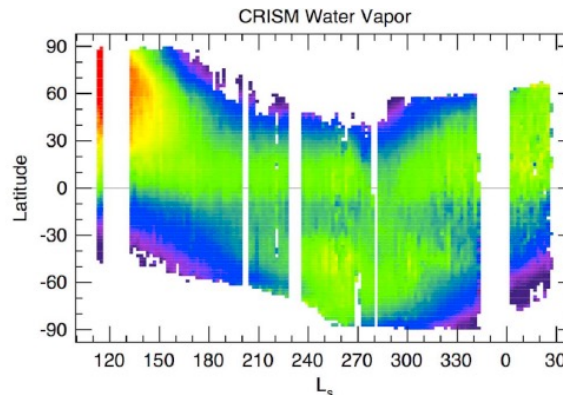
## Мониторинг водяного цикла и сравнение результатов

Сезонное распределение водяного пара на Марсе: MAWD/Viking (1979), **20-40  $\mu\text{m}$  band MY24-26**  
 TES/MGS (1999-2004), OMEGA-PFS-SPICAM/MEX (2004-2012), CRISM/MRO (2006-2012)

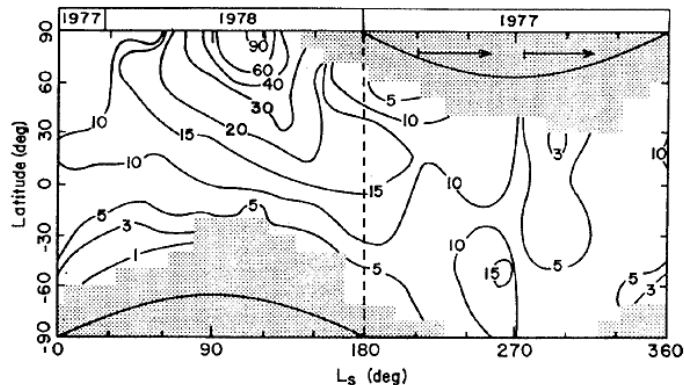


**TES / Mars Global Surveyor**

M.D. Smith 2004, 2006, 2008

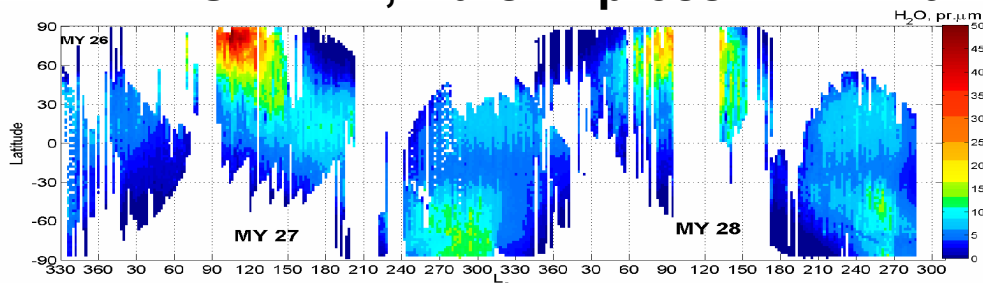


**2.56  $\mu\text{m}$  CRISM/MRO MY 28-29**  
 (Smith et al., 2009)



**water MAWD/Viking 1,2 (MY12-13)**  
 1.38  $\mu\text{m}$  band  
 (Jakosky and Farmer, 1982)

**SPICAM, Mars-Express MY 27-29**



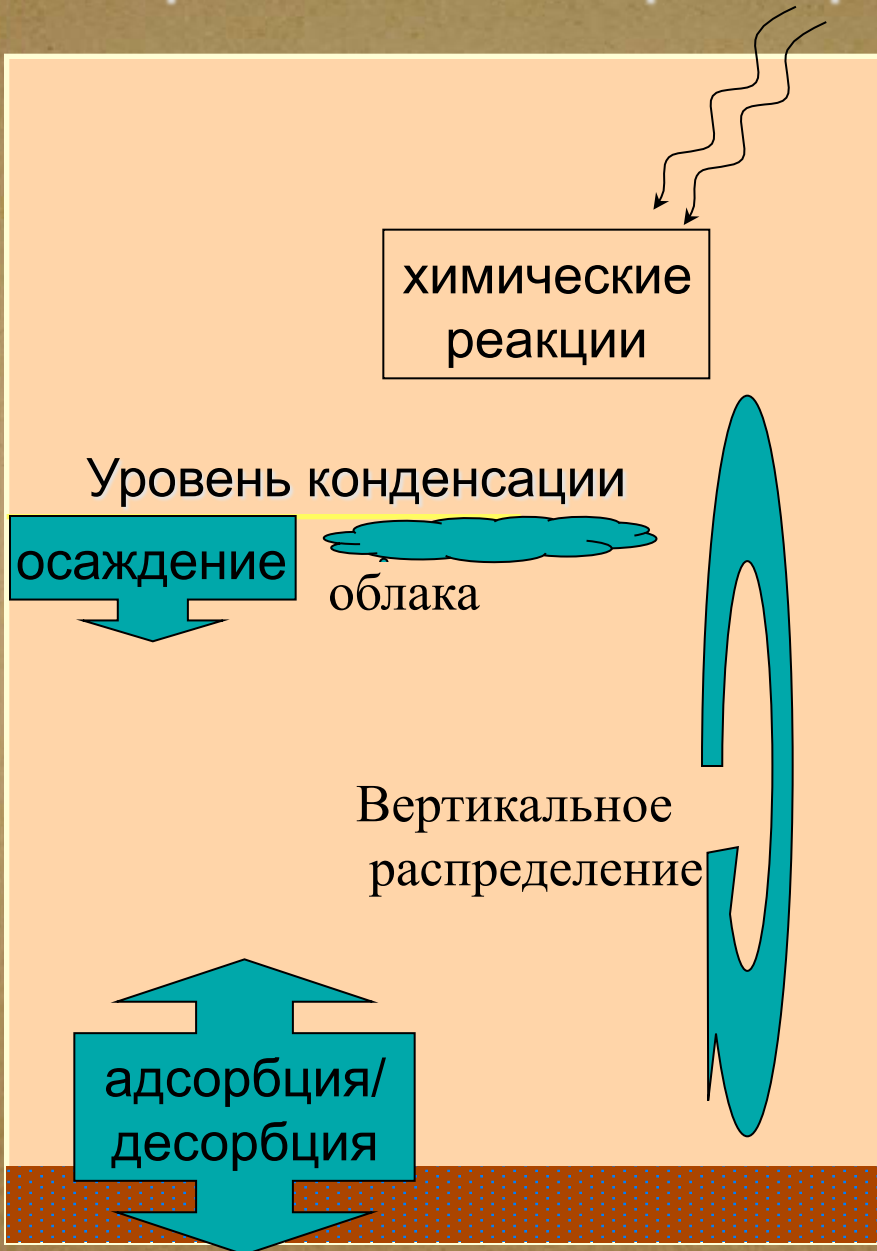
Fedorova et al., 2006; Trokhimovskiy et al 2012

Сравнение измерений водяного пара различными приборами:

- Согласование данных Mars Express (3 прибора)
- Коррекция обработки MGS/TES
- Коррекция результатов Viking/MAWD



# Вертикальное распределение H<sub>2</sub>O на Марсе



- потенциально управляется различными процессами

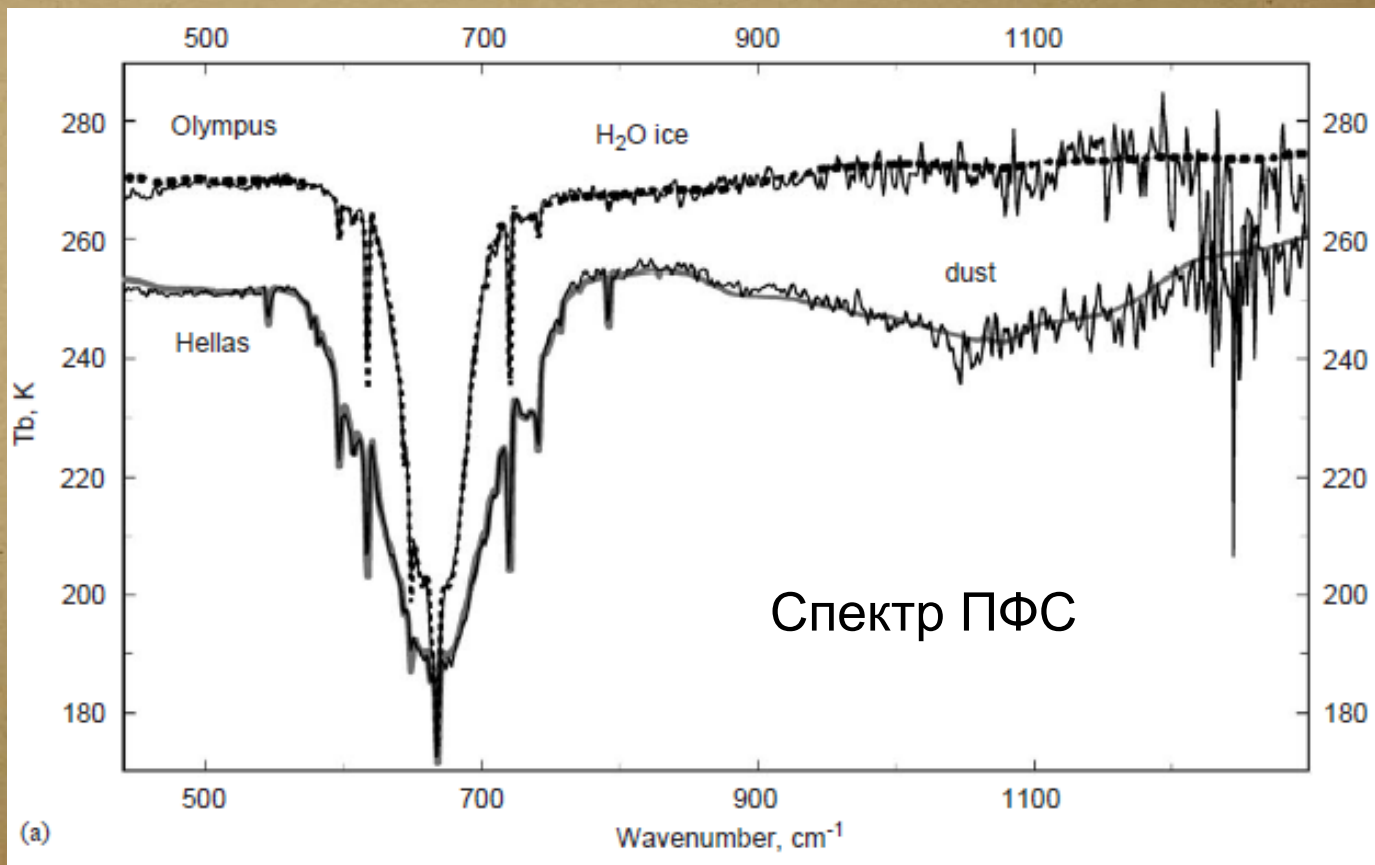


уникальная возможность определить важность многих активных механизмов формирования водяного цикла

- только немногочисленные наблюдения (Огюст/Фобос-2) 26 профилей, наблюдения в течении месяца с ограниченным пространственным покрытием (Rodin et al. 1997)
- ориентирование на GCMы, которые базируются на модельных упрощениях и предположениях

# Спектроскопия облаков водяного льда

Интегральная оптическая толщина  $H_2O$  льда  
измеряется в тепловом диапазоне по полосе 12 мкм





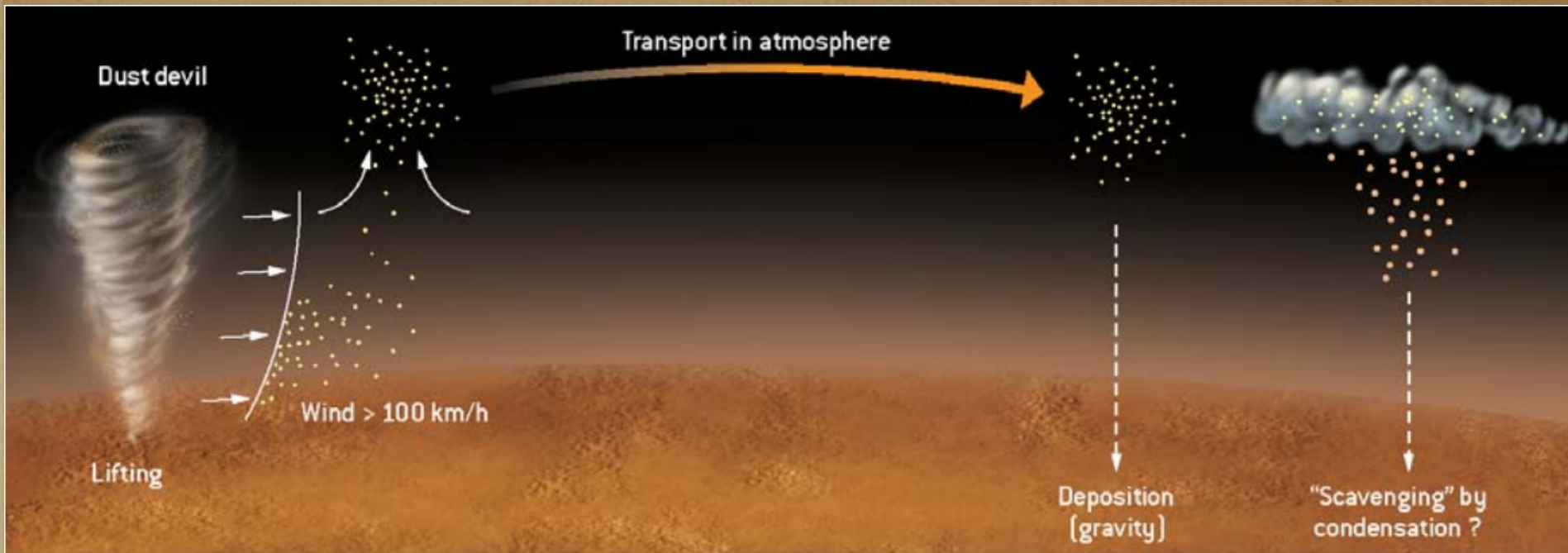
# Основные циклы

Цикл углекислого газа

Цикл водяного пара

**Пылевой цикл**

# Пылевой цикл Марса

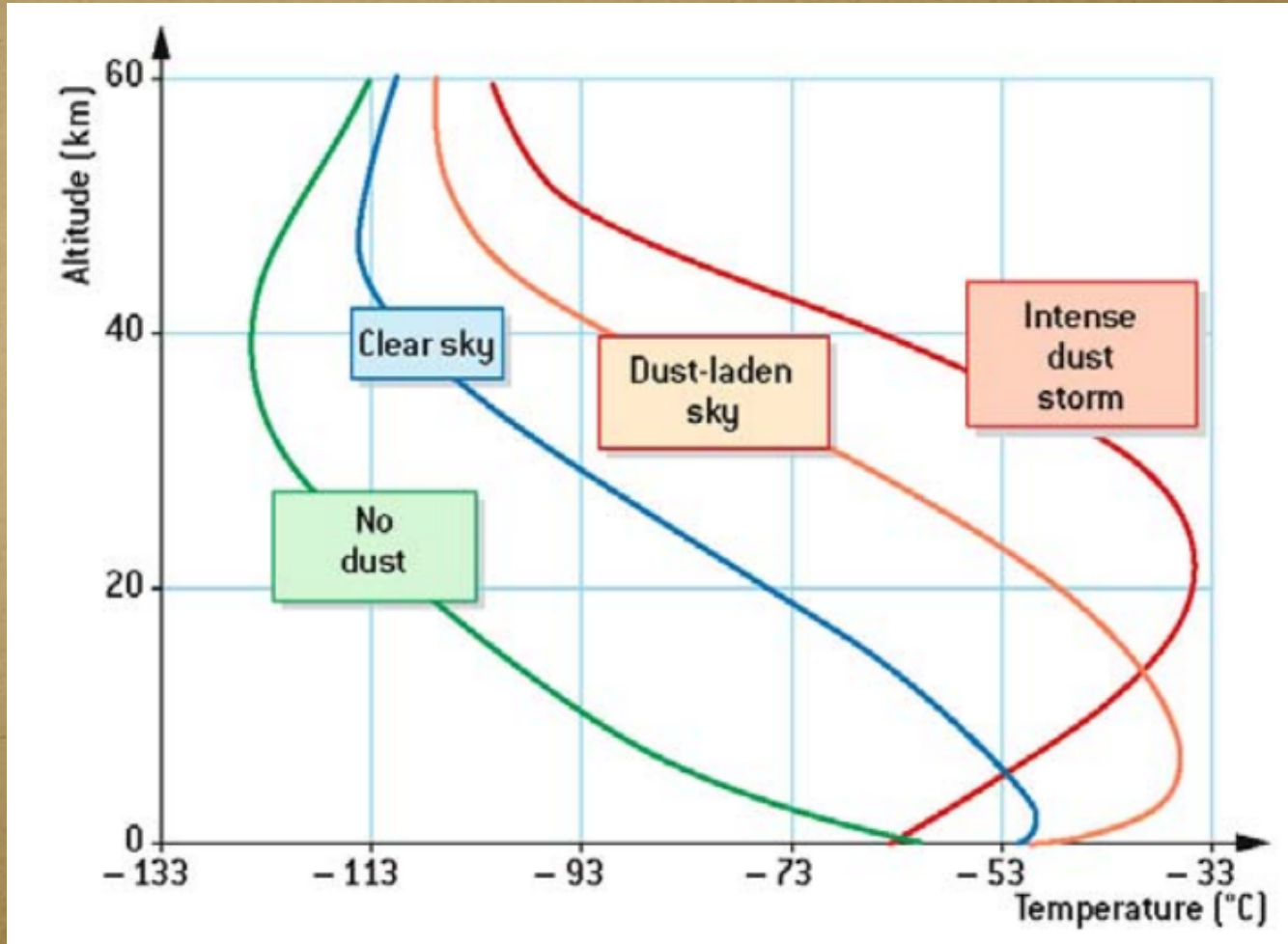


Осаждение пыли на калибровочном элементе марсохода СПИРИТ за 400 дней (2004-2006)



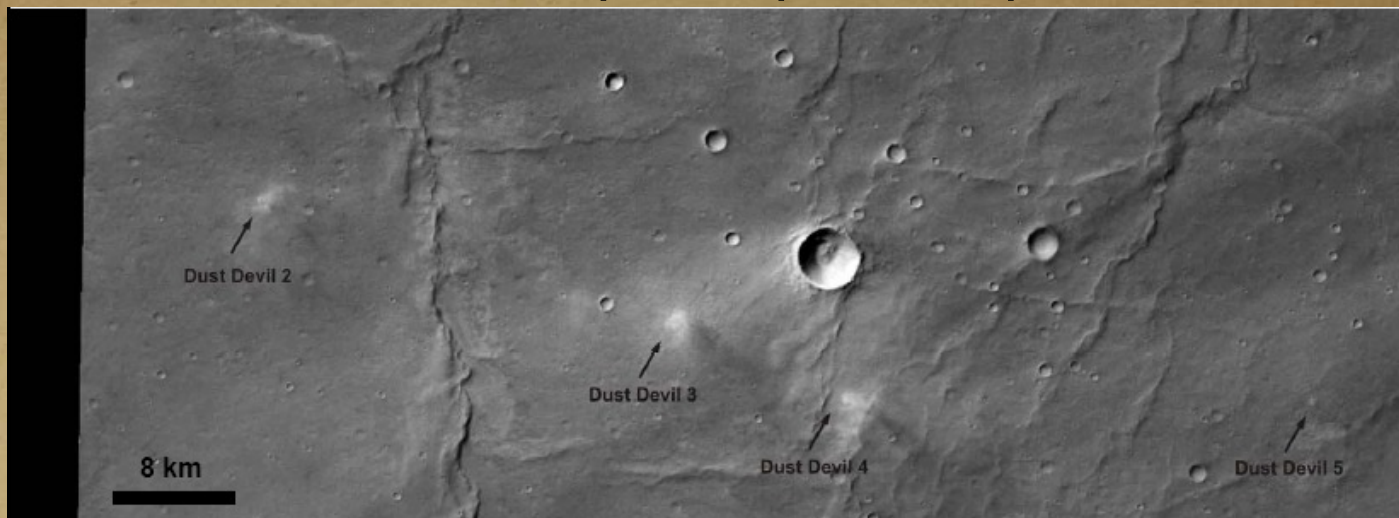
# Пылевой цикл Марса

## Радиационно-активная пыль влияние на температуру атмосферы

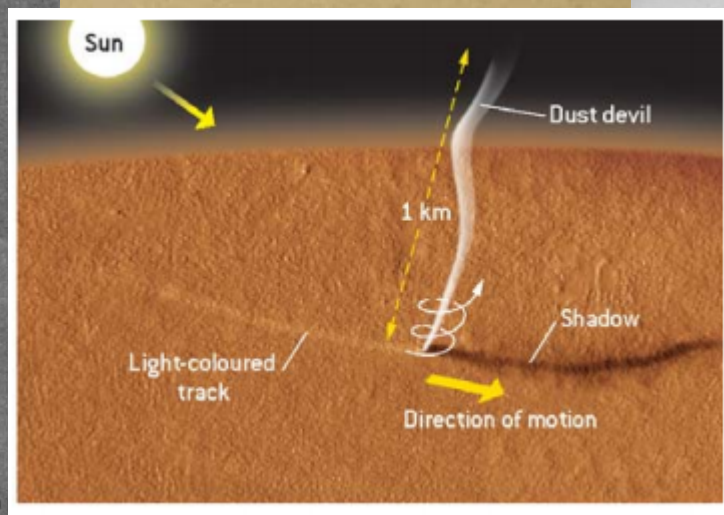
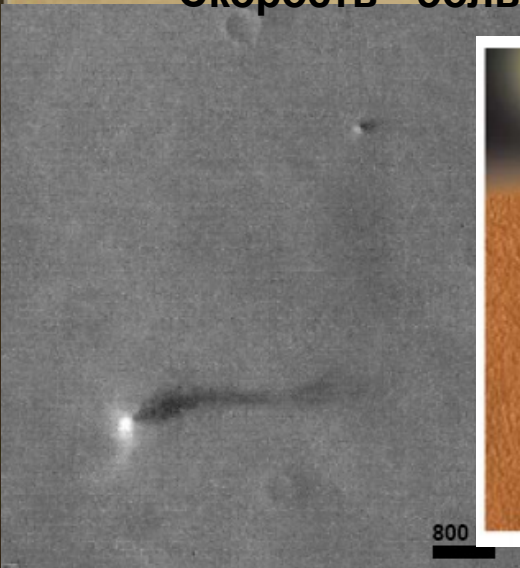


# Пылевые смерчи («dust devils»)

HRSC камера Марс-Экспресс



Скорость - большинство: < 15 м/с; 74 смерча: 23.1 м/с, высота до 8 км



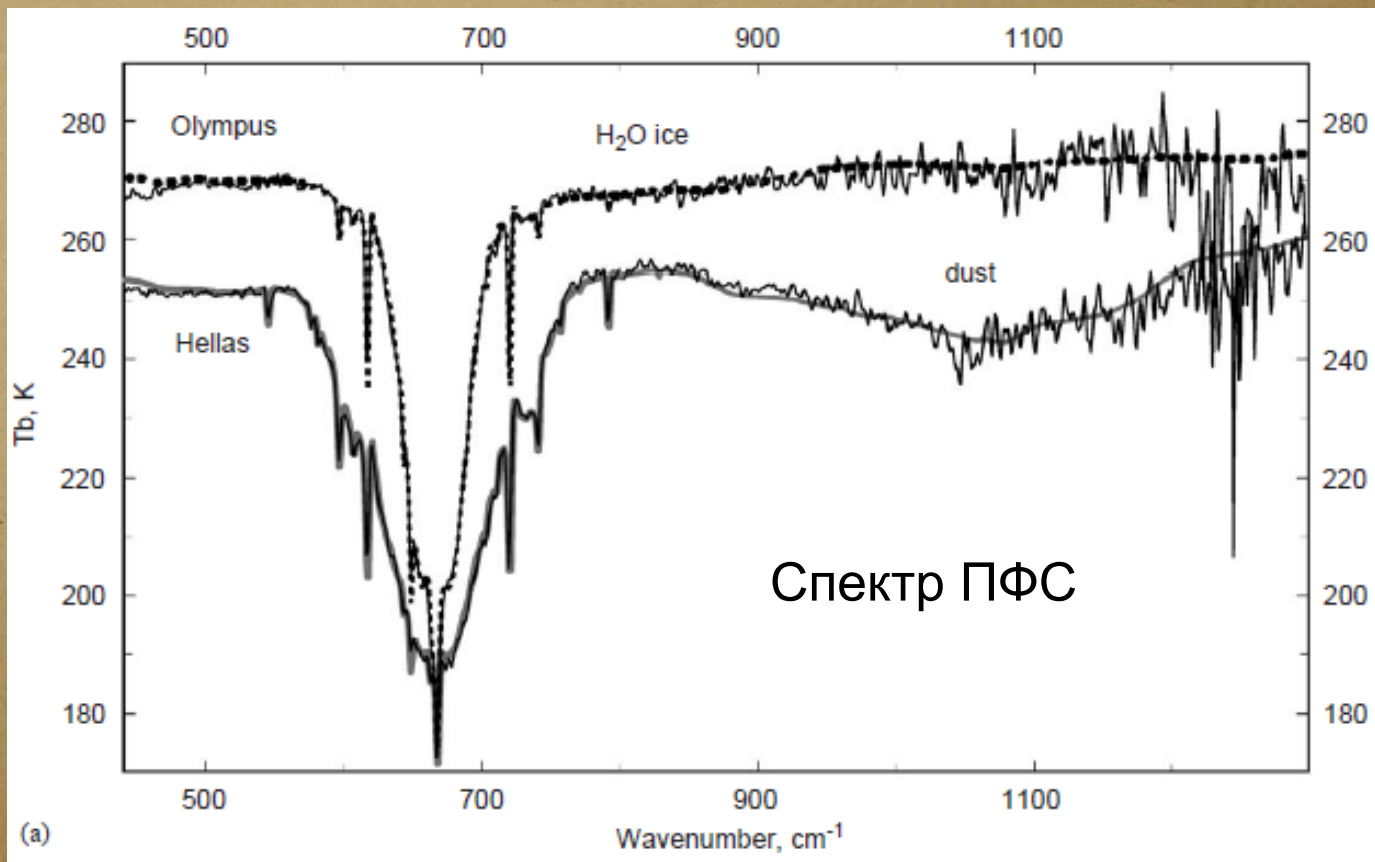
HRSC камера с орбиты

Марсоход СПИРИТ с поверхности



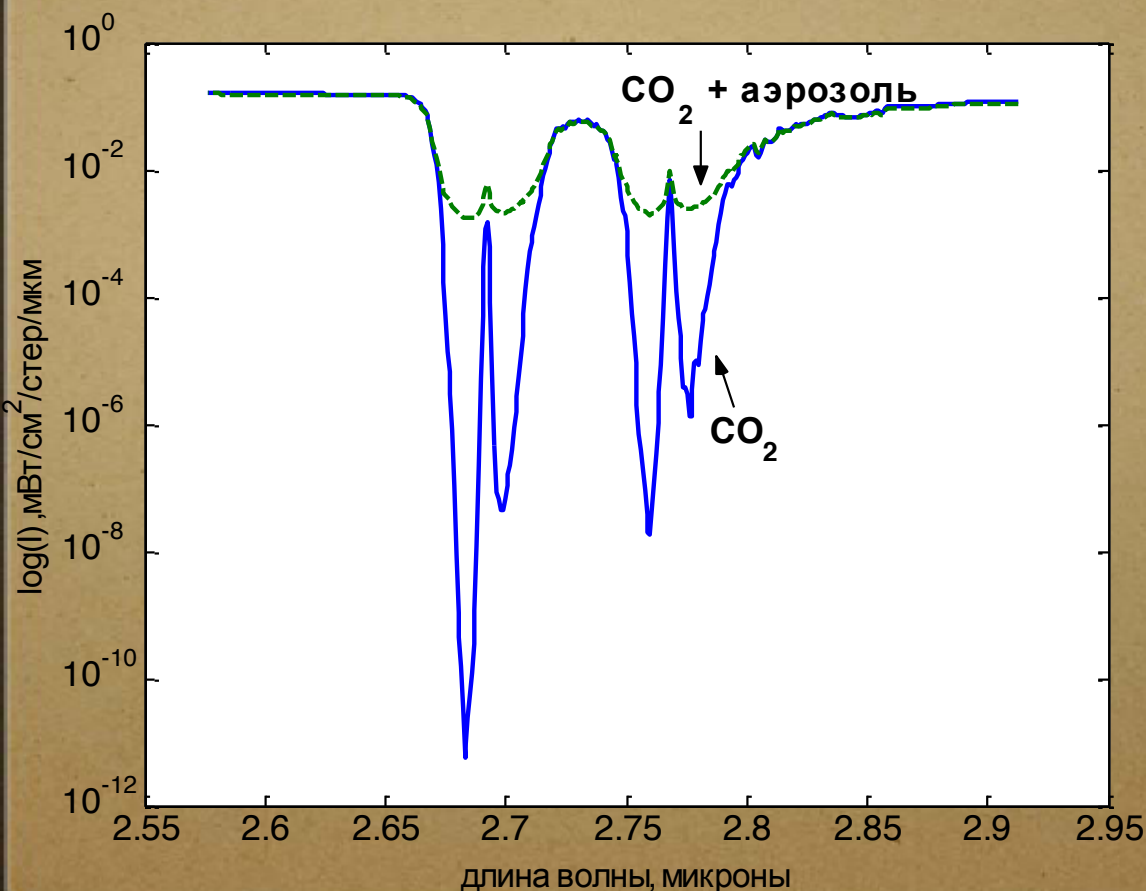
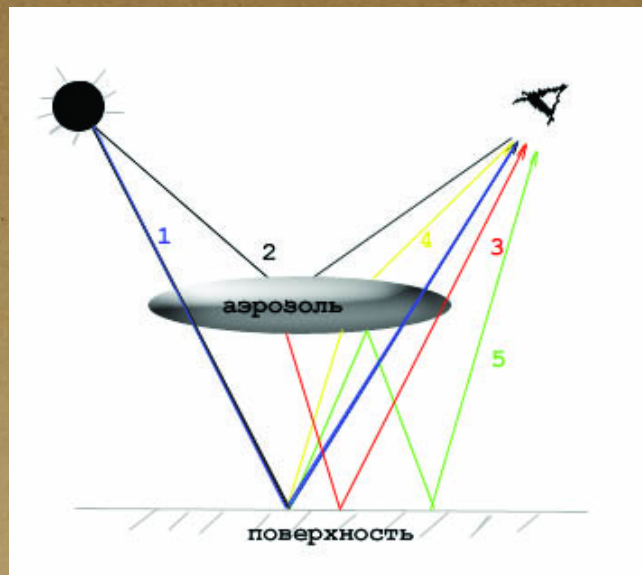
# Спектроскопия пыли

Интегральная оптическая толщина пыли  
измеряется в тепловом диапазоне полоса 9 мкм



# Спектроскопия пыли

Метод дистанционного зондирования аэрозоля в атмосфере Марса по полосе углекислого газа 2.7 мкм



В приближении беспылевой атмосферы интенсивность в центре полосы фактически равна нулю

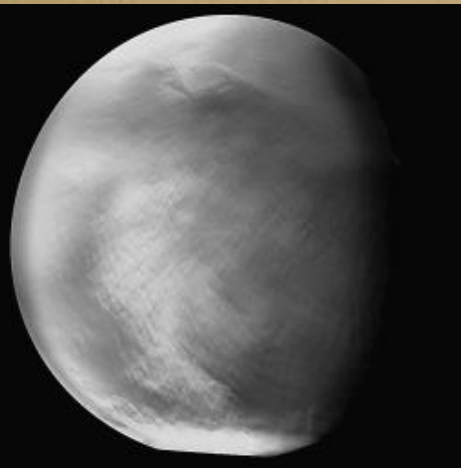
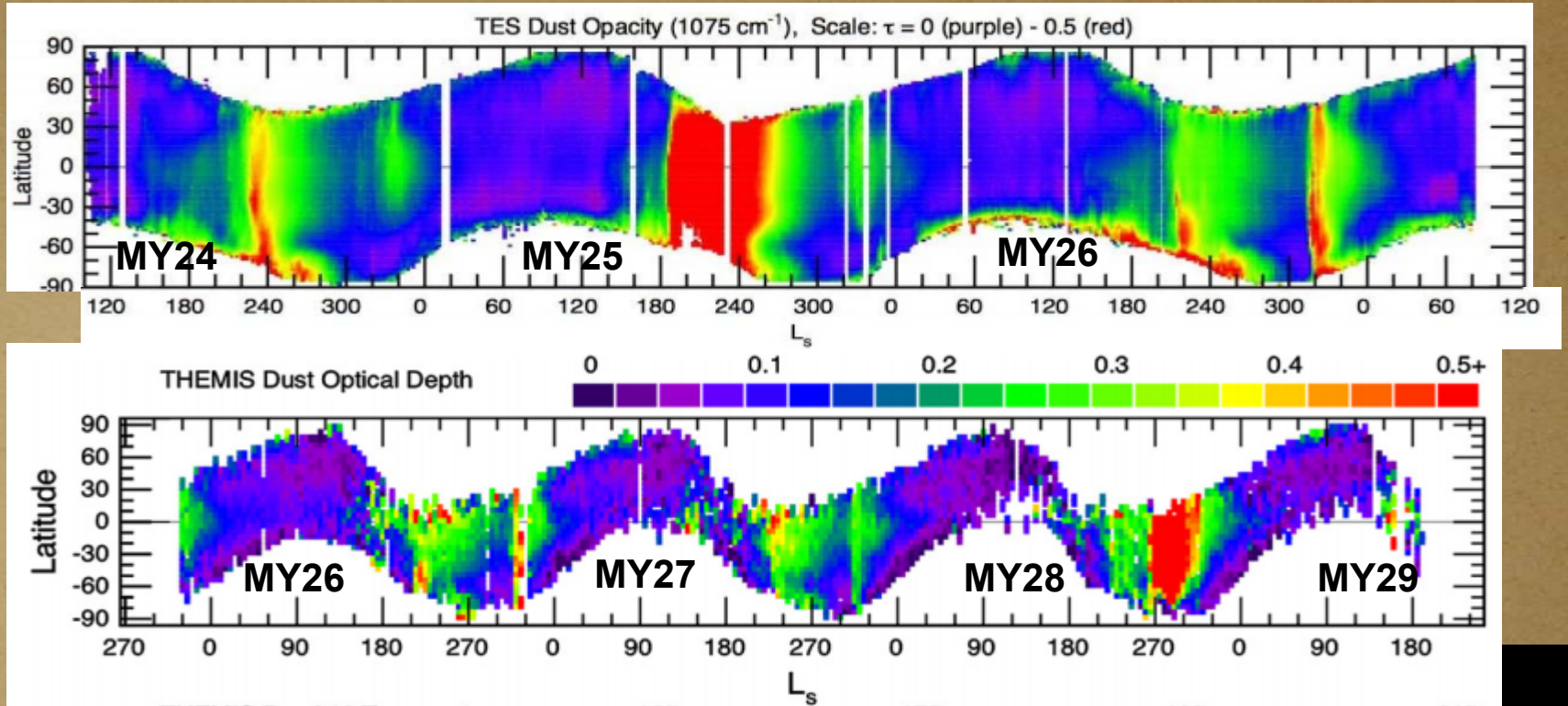
Оптическая толщина аэрозоля  $\tau=0.5$

Разрешение  $2 \text{ см}^{-1}$

Давление у поверхности 6 мбар

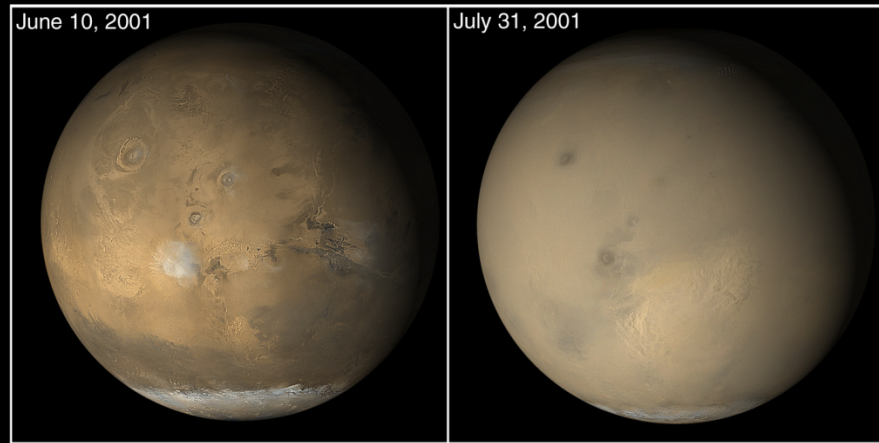


# Характерная климатическая неустойчивость - **Пылевой цикл** глобальные пылевые бури



**Крупная региональная буря в долине Ноя.**  
Наблюдения Марс-Глобал-Сервейор/МОС,  
 $L_s = 225^\circ$ , 1997 г. (MY23)

**Глобальная буря 2001г. (MY25),  $L_s = 180^\circ$**



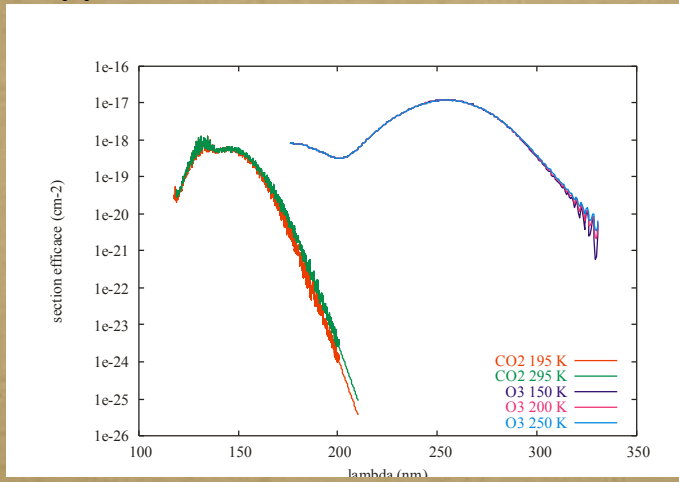
June 10, 2001

July 31, 2001

# Спектроскопия озона на Марсе: измерения озона несколькими способами

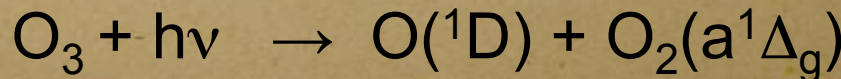
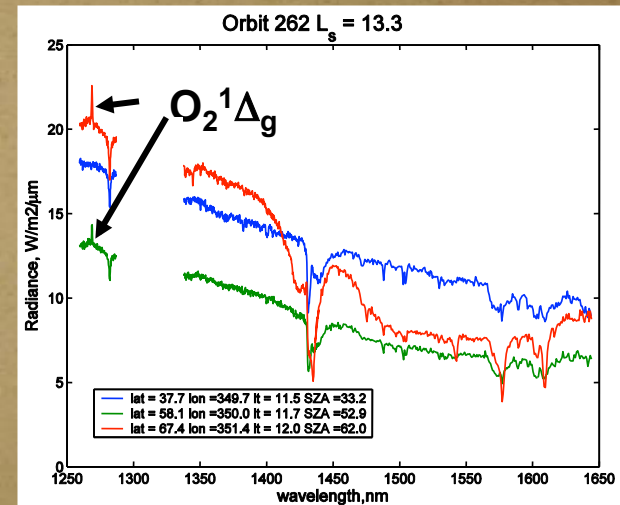
В УФ (полоса Хартли 250 нм):

- надир: интегральное содержание
- солнечные затмения
- звездные затмения

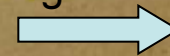


В ближнем ИК:

Свечение  $O_2^1\Delta$  в результате фотодиссоциации озона, содержание озона выше 20 км

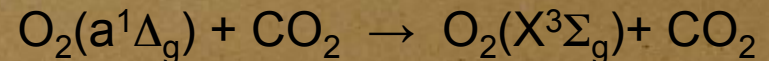
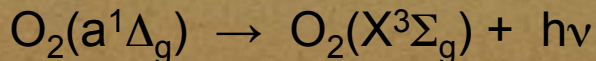


220 nm < λ < 320 nm

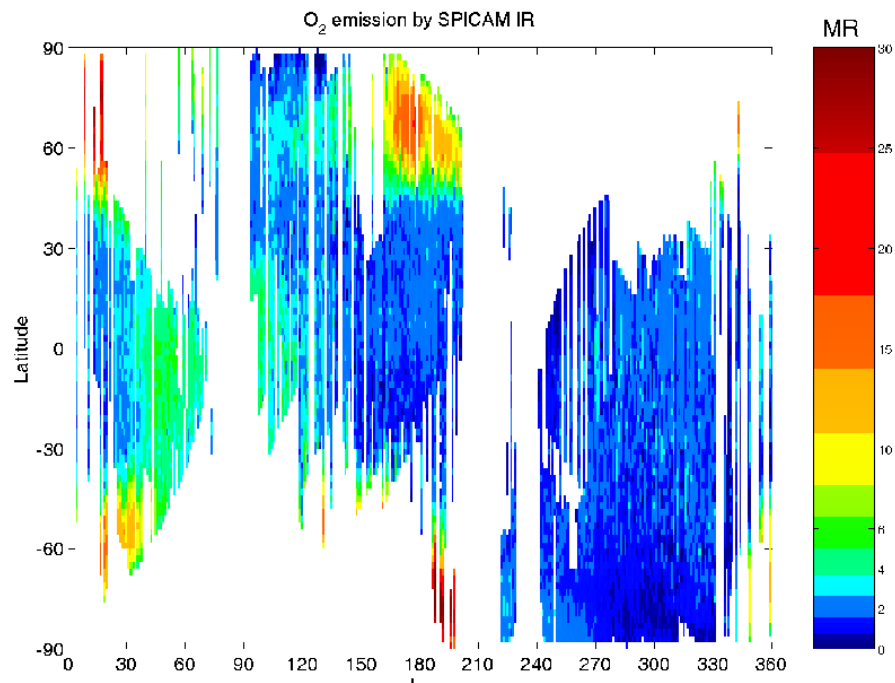


Излучение фотона

Столкновение с CO2

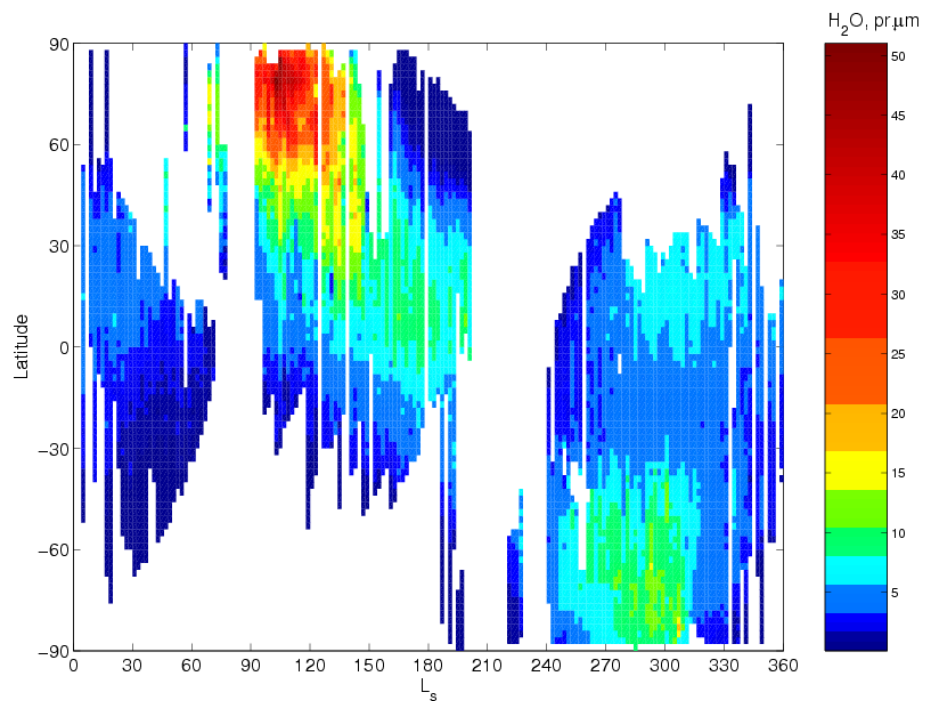






*Свечение O<sub>2</sub> – содержание озона  
на высотах > 20 км*

## Антикорреляция озона и водяного пара

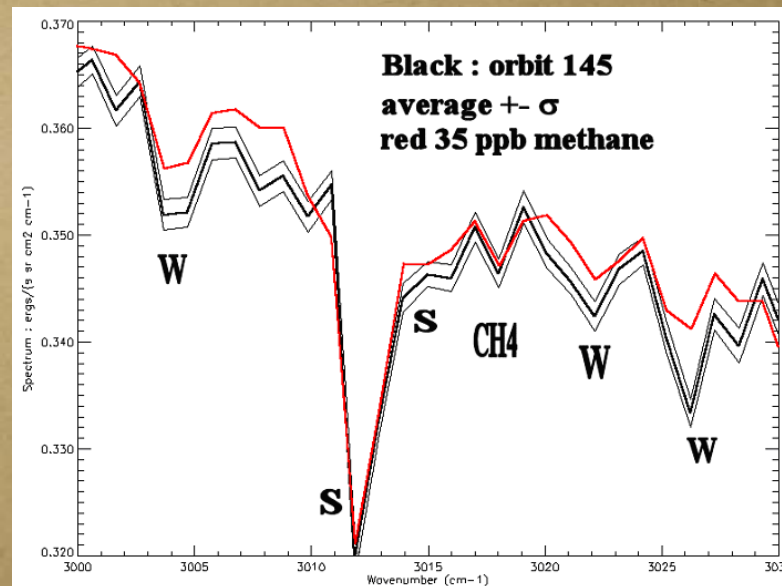
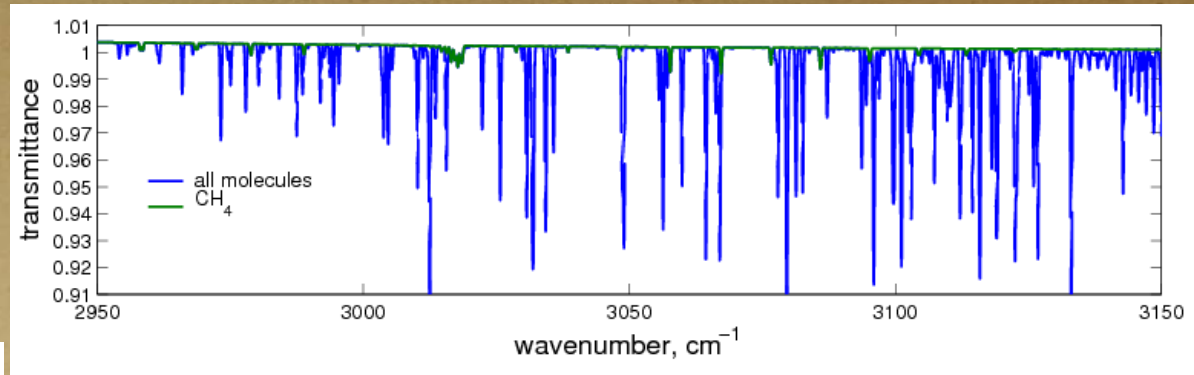
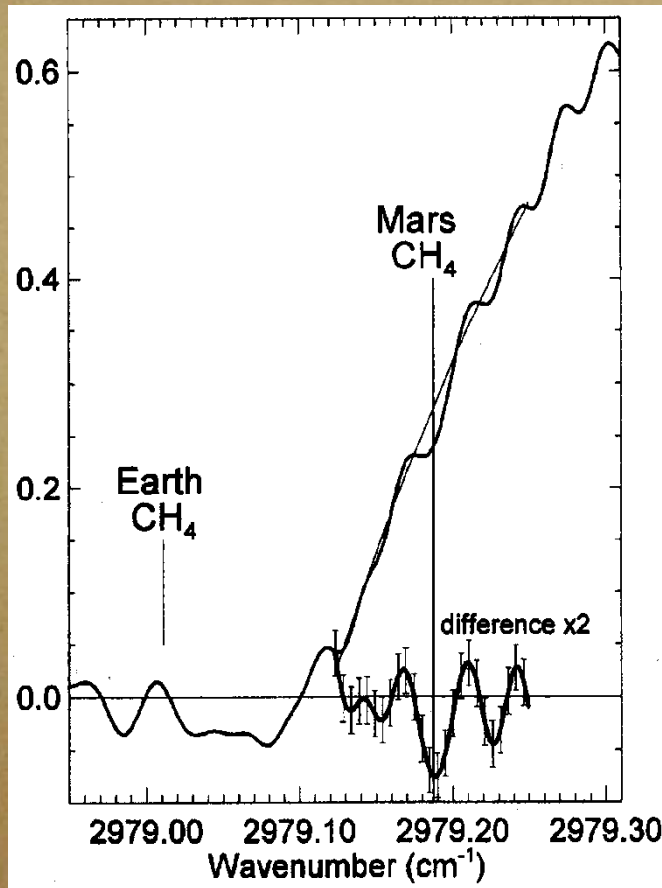


*H<sub>2</sub>O*



# Обнаружение метана с Земли и PFS/Mars Express

Основная полоса для измерения: 3.3 мкм (3000 см<sup>-1</sup>)



PFS/MEX :  
разрешение  
1.2 см<sup>-1</sup>

Среднее  
количество  
метана 10.5  
ppb,  
вариации  
0-30 ppb

Krasnopolsky et al. 2004  
CFHT (3.6 м на высоте 4.2 км) FTS разрешение 0.017 см<sup>-1</sup>  
( $\nu/\delta\nu = 180,000$ )  
15 линий CH<sub>4</sub> на 3.3 мкм  
Метан обнаружен в количестве 10 ± 3 ppb

# ФОТОХИМИЯ МЕТАНА

Photochemical loss of CH<sub>4</sub> in the martian atmosphere

Reaction		Rate coefficient (cm <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Column rate (cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	
CH <sub>4</sub> + <i>hν</i> (1216 Å) → products	60 км	–	1.0 × 10 <sup>5</sup>	1.0 × 10 <sup>5</sup>
CH <sub>4</sub> + OH → CH <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O		2.45 × 10 <sup>-12</sup> exp(-1775/ <i>T</i> ) <sup>a</sup>	1.0 × 10 <sup>5</sup>	1.2 × 10 <sup>4</sup>
CH <sub>4</sub> + O → CH <sub>3</sub> + OH	<40 км	8.3 × 10 <sup>-12</sup> ( <i>T</i> /300) <sup>1.56</sup> exp(-4270/ <i>T</i> ) <sup>b</sup>	560	120
CH <sub>4</sub> + O( <sup>1</sup> D) → CH <sub>3</sub> + OH		1.5 × 10 <sup>-10</sup> <sup>a</sup>	7.8 × 10 <sup>4</sup>	5 × 10 <sup>4</sup>
Total			2.8 × 10 <sup>5</sup>	1.6 × 10 <sup>5</sup>

The second column does not refer to photolysis of CH<sub>4</sub>, which is discussed in the text, and to the total loss. Column rates for the three reactions are calculated using the photochemical models of Nair et al. (1994, Fig. 15) and Krasnopolsky (1995, Fig. 2a) in the left and right columns, respectively.

<sup>a</sup> Sander et al. (2003).

<sup>b</sup> Baulch et al. (1992).

Время жизни метана в среднем 340 лет и не существует процессов формирования метана в атмосфере  
Требует источника 260 т/год (для 10ppb)  
на Земле: 582 10<sup>6</sup> т/год

Возможные источники:

- 1) Внутренние: вулканы
- 2) Внутренние: гидрогеохимические процессы на поверхности, высокотемпературные химические реакции в гидротермальных жидкостях
- 3) Внешние: метеориты, кометы
- 4) биологические

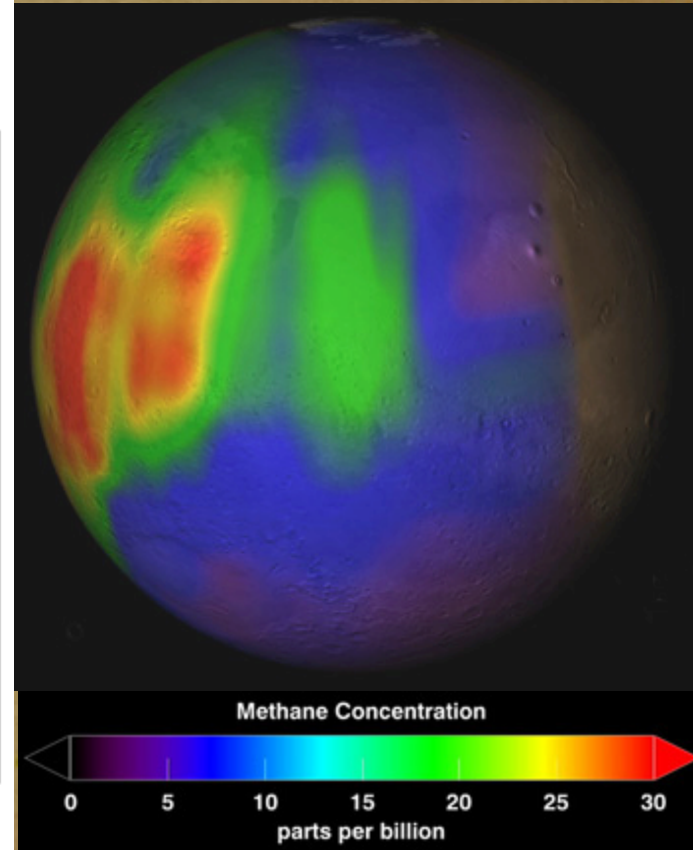
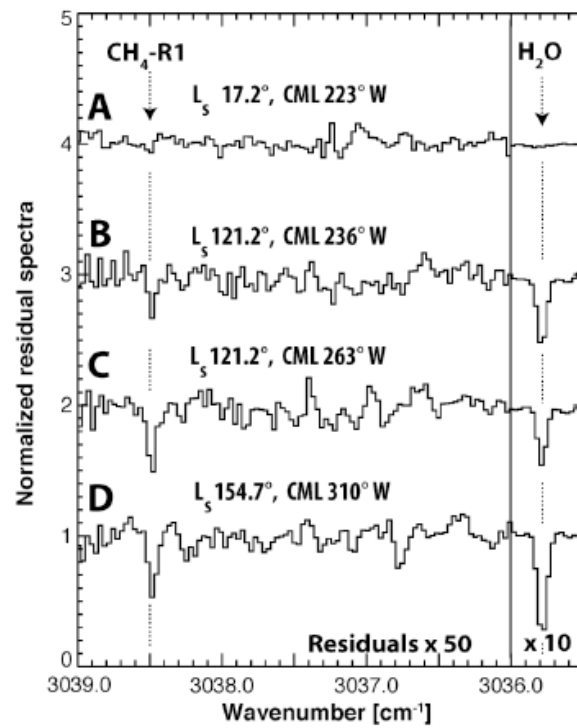
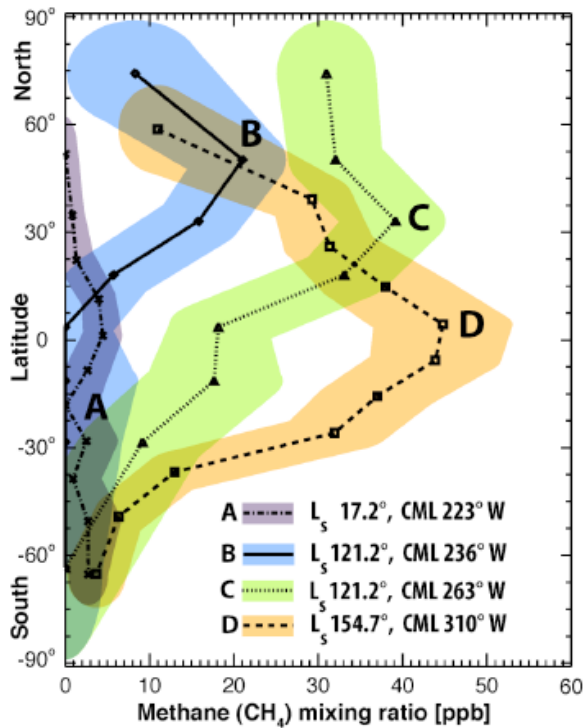
Time of vertical mixing is  $H^2/K \approx 10^6$  s  $\approx$  10 days in the martian lower atmosphere. Time of horizontal mixing is  $\approx 5R/V \approx 0.5$  y. Here  $H \approx 10^6$  cm is the scale height,  $K \approx 10^6$  cm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> is the eddy diffusion,  $R = 3.4 \times 10^8$  cm is Mars' radius,  $V \approx 100$  cm s<sup>-1</sup> is the meridional wind speed, and  $V/5$  is the chaotic component of the wind speed. Both times of vertical and horizontal mixing are much shorter than the CH<sub>4</sub> lifetime of 340 y. Therefore methane should be well mixed with the constant mixing ratio of  $10 \pm 3$  ppb throughout the whole atmosphere on Mars.

Абиогенные или биогенные источники  
Отношение <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C в метане?

# Астрономическое картирование метана

Mumma et al.

Methane on Mars




Gemini-South, Keck-II telescopes  
Echelle-spectrometers  
Mumma et al. 2009





# Mars Exploration Family Portrait

## Семейный портрет исследователей Марса


+ MAVEN 2013  
 + Indian Orbiter 2013  
 + ExoMars 2016


40: Mars Science Laboratory Curiosity  
 November 26, 2011   
 Mission to Gale Crater


1, 2: MARS 1M No. 1 / MARS 1M No. 2  
 October 10 / October 14, 1960   
 Both destroyed during launch  
 Оба - авария ракеты-носителя

 39: Phobos-Grunt  
 November 8, 2011  
 Stranded in Earth orbit  
 Сломался на орбите Земли


Осуществляет миссию  
 в кратере Гейла


3, 4, 5, 8: MARS 2MV-4 No. 1 / Mars 1 / Mars 2MV-3 No. 1 / Zond 2   
 October 24 / November 1 / November 4, 1962 / November 30, 1964  
 Broke up in Earth orbit / Radio failure en route / Stranded in Earth orbit / Radio failure en route  
 3 и 5 - не работала разгонная ступень на орбите Земли / 4 и 8 - утеряна связь


 38: Phoenix  
 August 4, 2007  
 Landed, dug for water  
 Спустился, нашел воду


6, 7: Mariner 3 / Mariner 4   
 November 5 / November 28, 1964  
 Payload fairing failed to open / First flyby and picture return  
 Не раскрылись солнечные батареи / успешный пролет Марса, передал первые фото

37: Mars Reconnaissance Orbiter  
 August 12, 2005   
 Orbiting Mars  
 Успешно работает на орбите Марса

9, 10: Mariner 6 / Mariner 7   
 February 25 / March 27, 1969  
 Both flew by, returned pictures  
 Оба успешно передали фотографии с пролетной траектории

 35, 36: Mars Exploration Rovers Spirit and Opportunity  
 June 10 / July 7, 2003  
 Both landed on surface, Opportunity still in operation  
 Оба успешно опустились на поверхность и работали, Opportunity до сих пор в строю

11, 12: Mars 1969 A / Mars 1969 B   
 March 27 / April 2, 1969  
 Both destroyed during launch  
 Оба разбились из-за аварии ракеты-носителя

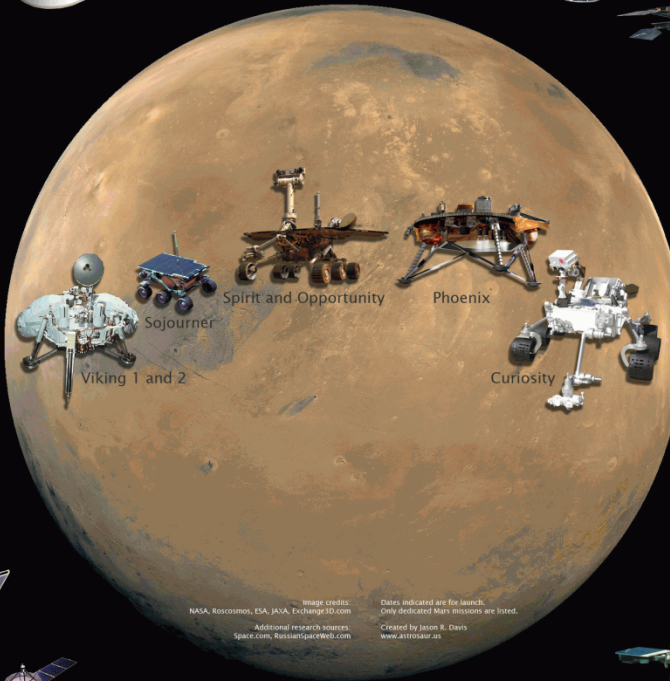
 34: Mars Express / Beagle 2 lander  
 June 2, 2003  
 Orbiting Mars, Beagle lost after separation  
 Достиг орбиты Марса, марсоход Beagle утерян после отделения

Spirit and Opportunity


Phoenix


Sojourner


Curiosity





13, 17: Mariner 8 / Mariner 9   
 May 8 / May 30, 1971  
 Destroyed during launch / First probe to orbit Mars  
 Авария ракеты-носителя / Первый аппарат на орбите Марса


 33: Mars Odyssey  
 March 7, 2001  
 Orbiting Mars  
 Успешная работа на орбите Марса

14, 15, 16: Cosmos 419 / Mars 2 / Mars 3   
 May 10 / May 19 / May 28, 1971  
 Failed in Earth orbit / Lander crashed / Lander failed  
 Авария на земной орбите/разбились при посадке/не удалось посадить


 32: Mars Polar Lander  
 January 3, 1999  
 Crashed on surface  
 Авария при посадке


18, 19, 20, 21: Mars 4 / Mars 5 / Mars 6 / Mars 7   
 July 21 / July 25 / August 5 / August 9, 1973  
 Missed planet / Orbited planet / Lander failed (6 and 7)  
 передал фото с пролетной траектории, но не сработал тормоз / вышел на орбиту Марса / не удалось посадить


 31: Mars Climate Orbiter  
 December 11, 1998  
 Crashed due to imperial/metric unit mixup  
 Авария при выводе на орбиту из-за ошибки в метрических данных


 30: Nozomi  
 July 4, 1998  
 Missed planet  
 Не удалось вывести на орбиту Марса

 29: Mars Pathfinder  
 December 4, 1996  
 Landed on surface, deployed Sojourner rover  
 Спустился на поверхность, запустил марсоход Sojourner

22, 23: Viking 1 / Viking 2   
 August 20 / September 9, 1975  
 Both landed on surface, returned data  
 Оба успешно достигли поверхности Марса и передали данные

24, 25: Phobos 1 / Phobos 2   
 July 7 / July 12, 1988  
 Lost communication en route / Lost communication near Phobos  
 Утеряна связь / Вышел на орбиту Марса, передал фото, утеряна связь вблизи Фобоса

 28: Mars 96  
 November 16, 1996  
 Destroyed during launch  
 Не работала разгонная ступень, разрушился в полете

 26: Mars Observer  
 September 25, 1992  
 Lost communication near Mars  
 Утеряна связь вблизи Марса


27: Mars Global Surveyor   
 November 7, 1996  
 Orbiting and returned data  
 Успешно достиг орбиты Марса и передавал данные (в течение десяти лет)

Image credits: NASA, Roscosmos, ESA, JAXA, Exchange3D.com  
 Data: indicated are the launch. Only dedicated Mars missions are listed.  
 Additional research sources: Space.com, RussianSpaceWeb.com  
 Created by Jason B. Davis www.astroart.net

# International Exploration of Mars

2011

2013

2016

2018

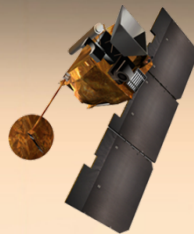
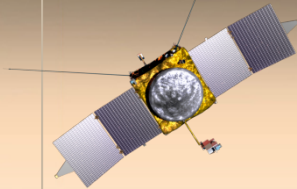
2020

2022

2024

## Future Plans

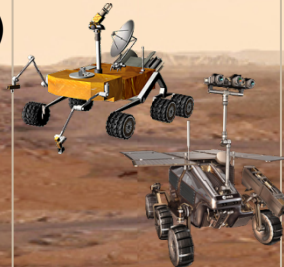
MAVEN



ExoMars  
Trace Gas  
Orbiter  
(ESA-NASA)

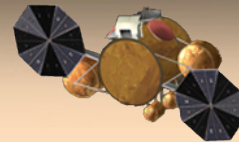
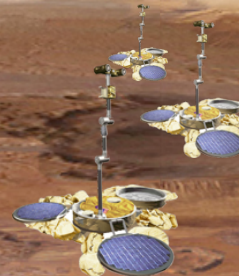
Россия

MAX-C  
(NASA)



ExoMars  
(ESA)

Mars  
Network



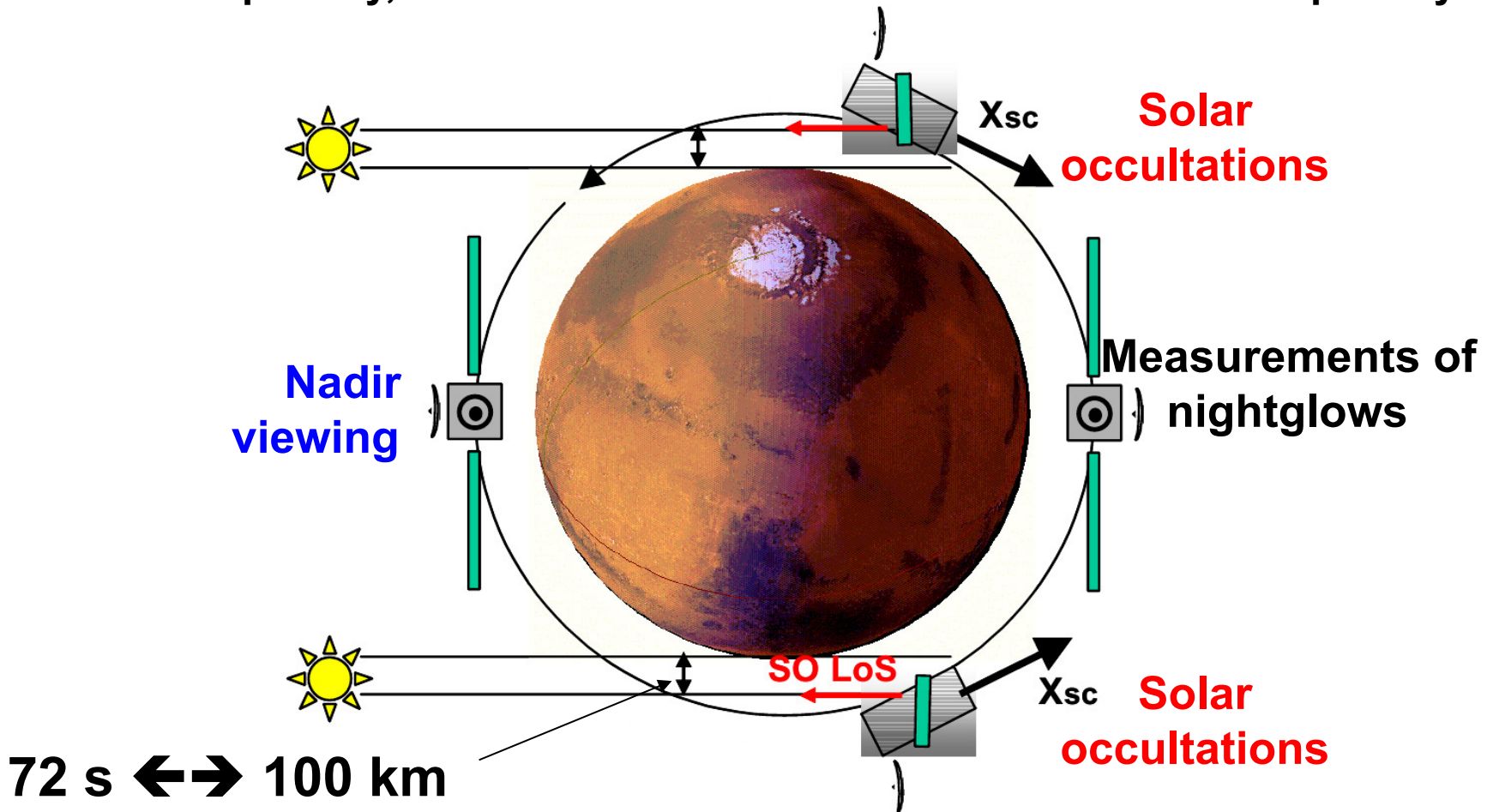
Mars Sample  
Return



Mars Science  
Laboratory

# TGO OPERATIONS

- Operational orbit: period  $T=120$  min (40 min in eclipse);
- Altitude 400 km; inclination 74 deg;
- 12 orbits per day, 12 sunrises and 12 sunsets – 24 occultation's per day

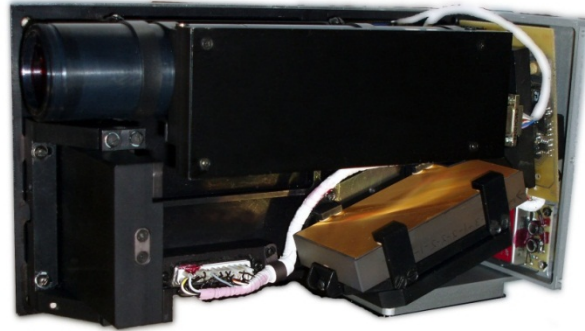




# ACS (Atmospheric Chemistry Suite)

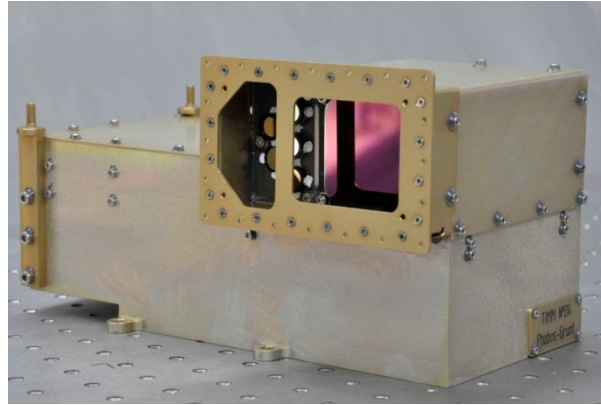
три спектрометра для исследования атмосферы

## NIR: Near-IR spectrometer



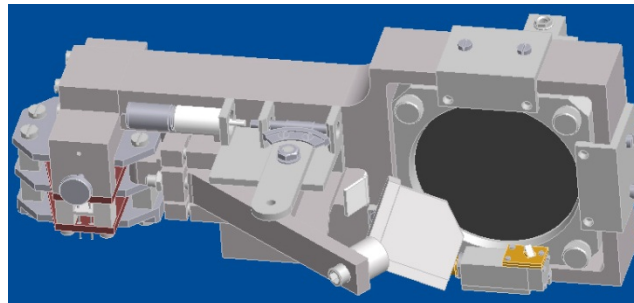
Spectral range: 0.7 – 1.7  $\mu\text{m}$   
Spectral resolving power: ~20 000

## MIR: Mid-IR spectrometer



- Spectral range: 2.2 – 4.5  $\mu\text{m}$
- Spectral resolving power: >50 000
- Observation mode: Solar occultation

## TIR: thermal-IR spectrometer



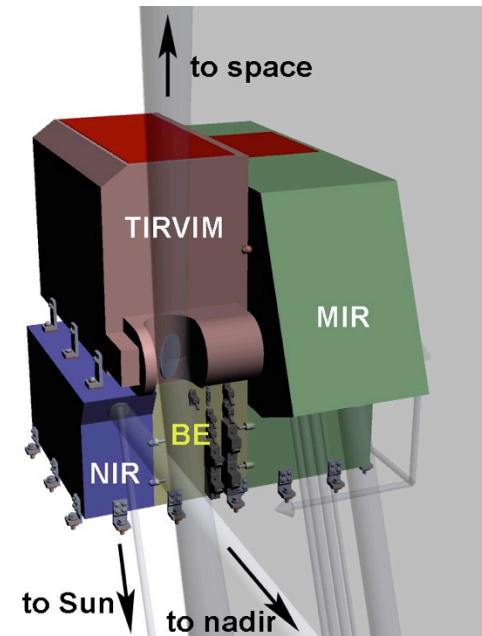
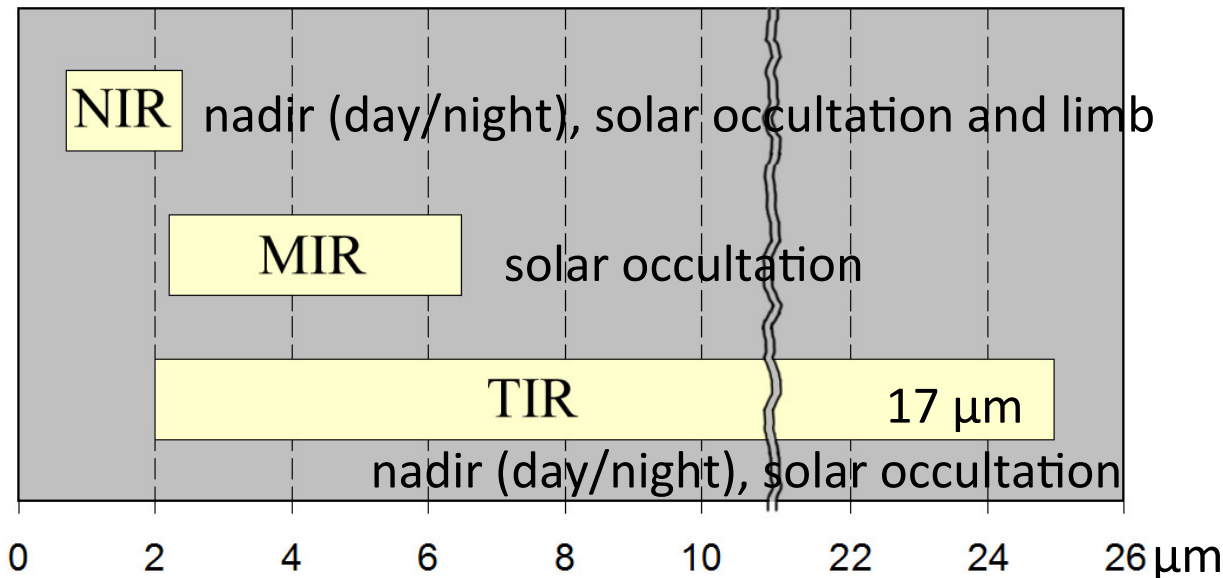
- Spectral range: 2–25  $\mu\text{m}$  (400–5000  $\text{cm}^{-1}$ )
- Best spectral resolution: 0.2  $\text{cm}^{-1}$  (apodized, OPD=6 cm max)

# Key questions of Mars science and ACS

- Internal structure/**Volcanism**
  - By measuring minor gases of potential volcanic origin
- **Climate: present and evolution**
  - By characterizing atmospheric state, climate, and isotopic ratios (D/H in particular)
- Past and **present habitability**
  - By measuring minor gases of potential biological significance

	Spectral range	Inst. range	resolution
ACS/MIR	2.2-4.3 $\mu\text{m}$	0.28-0.3 $\mu\text{m}$	>50 000
ACS/NIR	0.73-1.6 $\mu\text{m}$	$\sim 0.17 \mu\text{m}$	>20 000
ACS/TIRVIM	2.05-17 $\mu\text{m}$	full range	0.2 $\text{cm}^{-1}$ occ 0.2-1.6 $\text{cm}^{-1}$ nadir

## Three channels of ACS

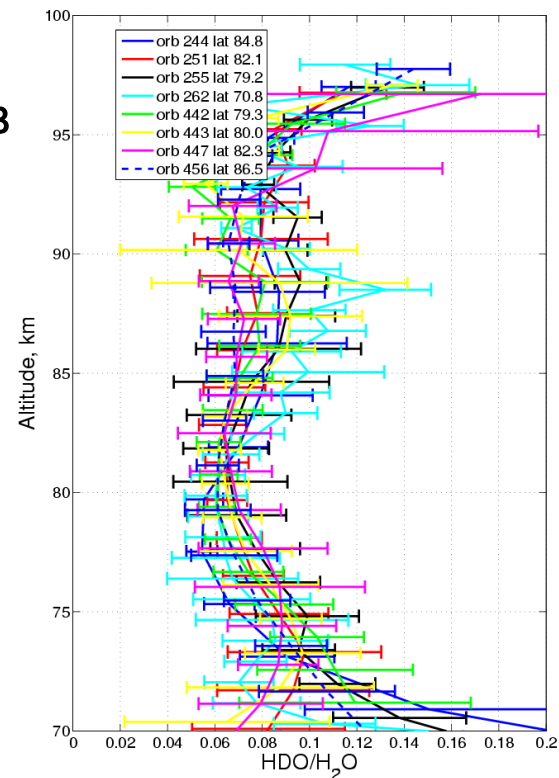
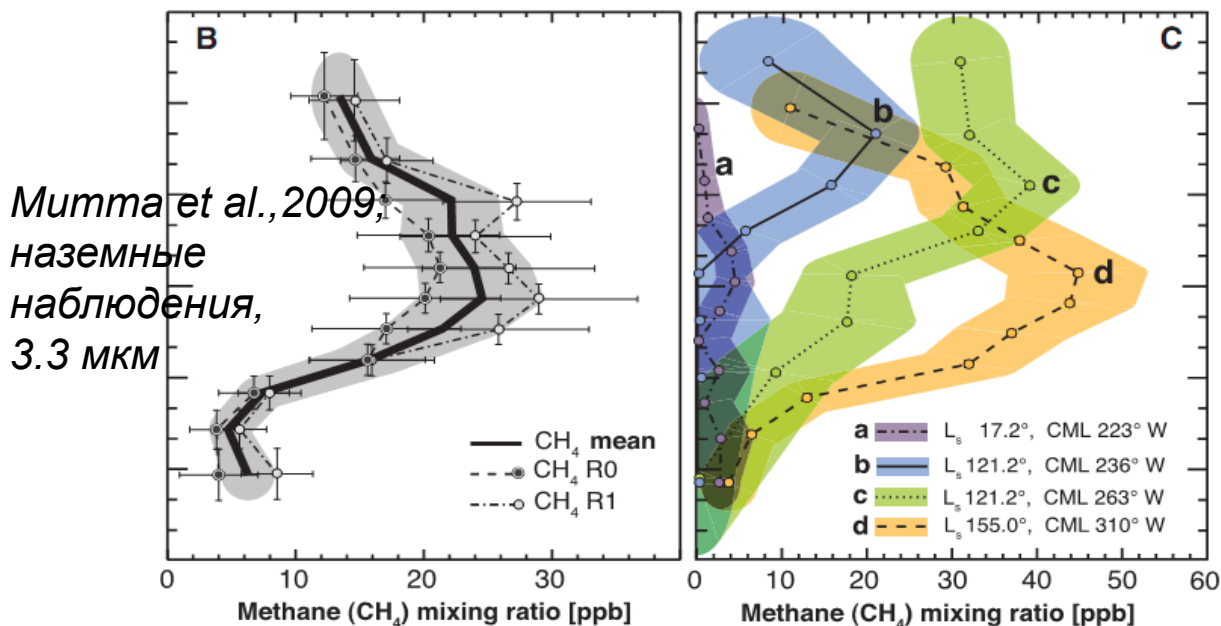






# MIR / Научные задачи

- Измерение вертикальных профилей плотности и температуры по полосам CO<sub>2</sub> и известных малых газовых составляющих CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O, CO на вечернем и утреннем терминаторе на высотах 10-80 км
- Измерения изотопных отношений HDO/H<sub>2</sub>O, <sup>13</sup>CO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>, CO<sup>18</sup>O/CO<sub>2</sub> и т.д.
- Поиск малых газовых составляющих C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> и, SO<sub>2</sub>, HO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>CO, HCl, OCS
- Профили аэрозоля, разделение водяных облаков и пылевых частиц



СУАР/ВЕНЕРА-ЭКСПРЕСС,  
2.2-4.3 мкм, ~20000