

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ЕЖЕГОДНЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ

«**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА**»

Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, природных и антропогенных объектов



Изучение тропосферы Венеры по данным наблюдений СПИКАВ-ИК в окнах прозрачности

Евдокимова Д. Г. ^{1,*}, Ведерников М.А. ^{2,1}, Федорова А.А. ¹, Жарикова М.С. ¹,
Кораблев О.И. ¹, Монтмессан Ф. ³, Берто Ж.-Л. ³

¹ Институт космических исследований РАН, Москва, Российская Федерация

² Национальный исследовательский университет, Высшая школа экономики, Москва, Россия

³ LATMOS – UVSQ/UPMC/CNRS, Гюйанкур, Франция

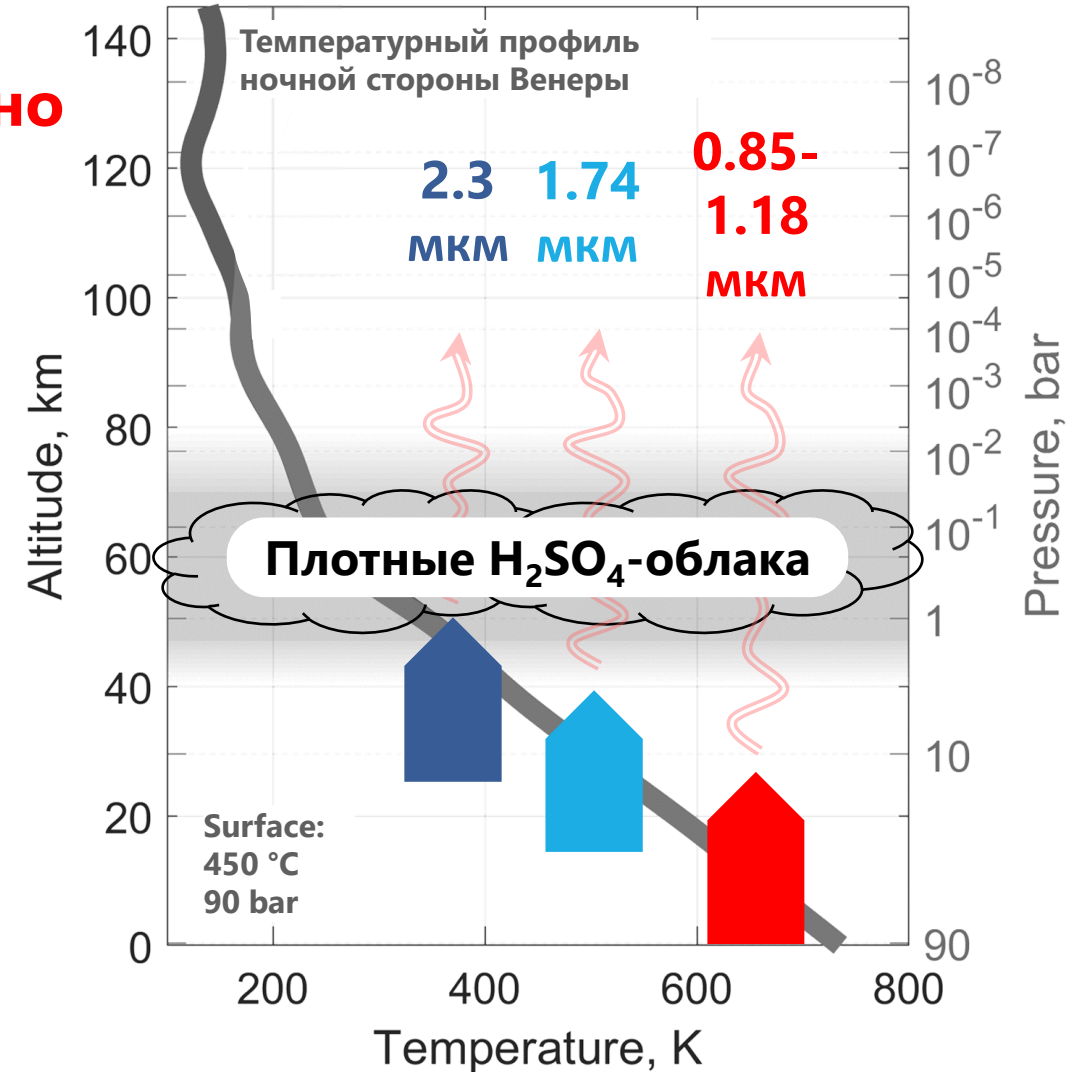
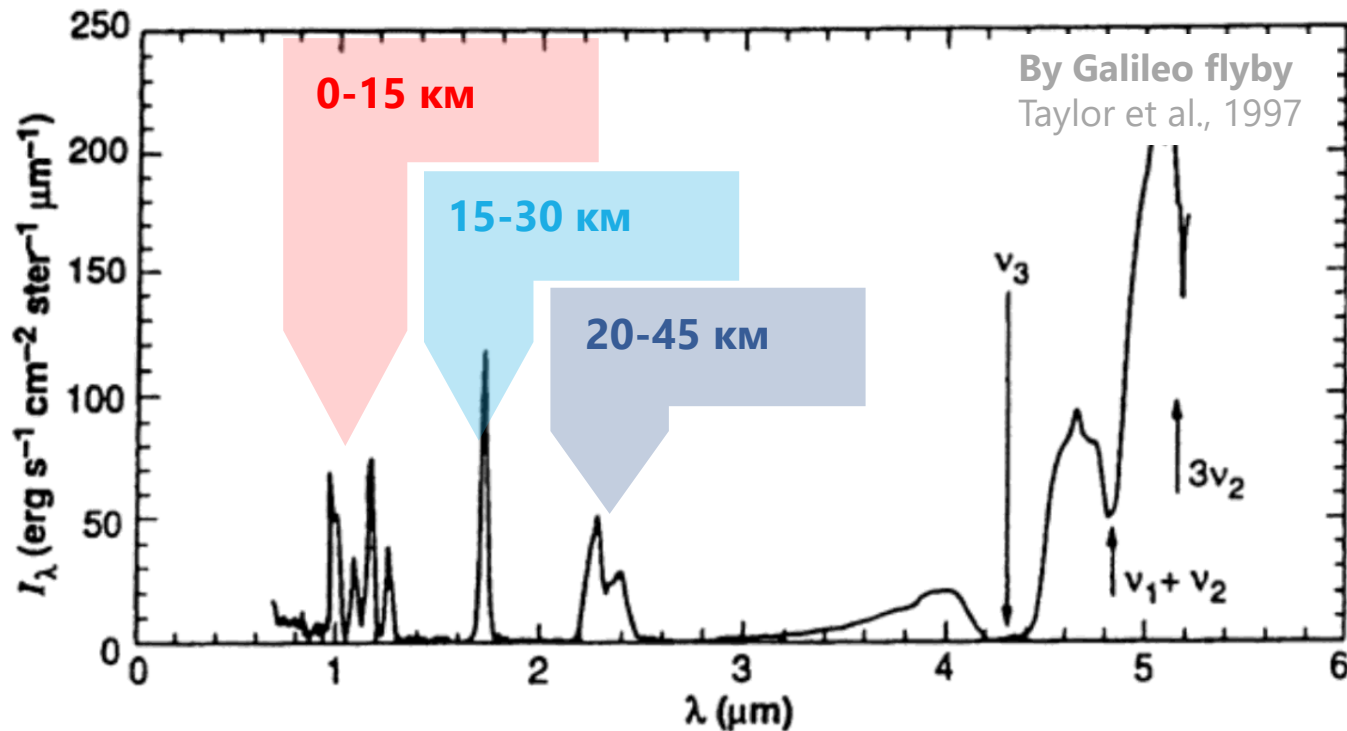
* daria.evdokimova@cosmos.ru

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, грант #23-72-01064

“Окна прозрачности” атмосферы Венеры

CO₂ - 96.5%: парниковый эффект $\Delta T \sim 500^\circ\text{C}$

“Окна прозрачности” в ИК-диапазоне можно наблюдать на ночной стороне Венеры



СПИКАВ ИК / «Венера-Экспресс»: 2006-2014

Акустооптический перестраиваемый фильтр - основа спектрометра

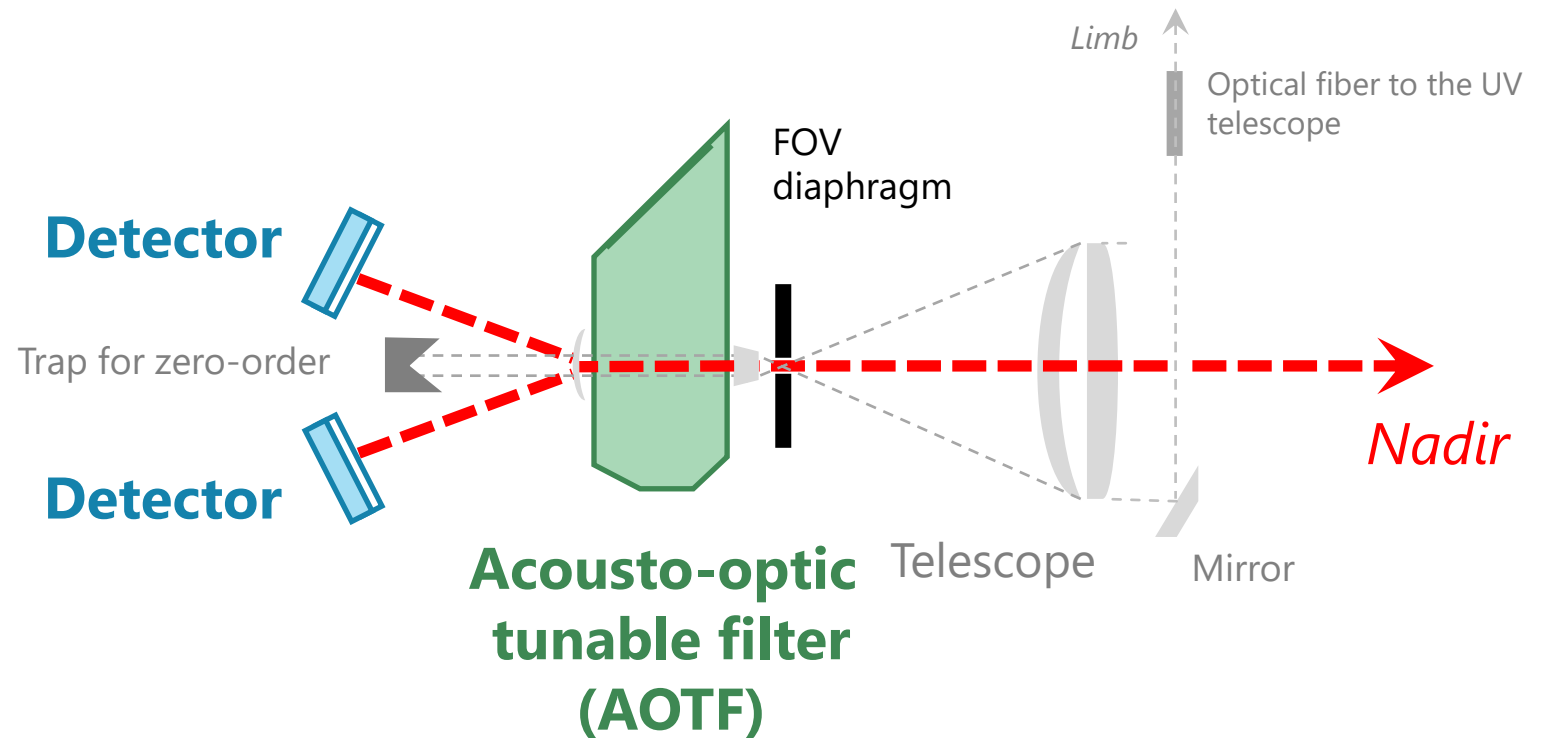
Спектр записывается последовательно: фильтр перестраивается на каждую λ

Спектральный диапазон **0.65 – 1.7 мкм**

Разрешающая способность **~1400**
($\nu/\Delta\nu$)

Поле зрения (FOV) **2° (круг)**

Масса **0.7 kg**

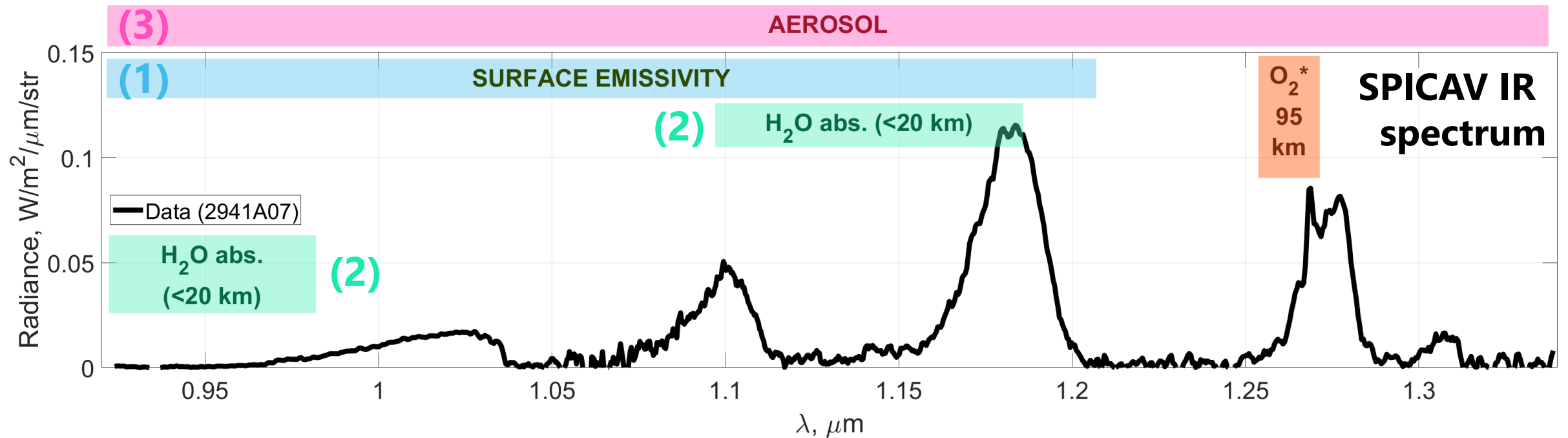


SPICAV - Spectroscopy for Investigation of Characteristics of the Atmosphere of Venus

СПИКАВ ИК / «Венера-Экспресс»: 2006-2014

Спектр определен:

- (1) температурой и излучательной способностью поверхности
- (2) содержанием H_2O
- (3) оптической толщиной облачного слоя (H_2SO_4) на 47-70 км



СПИКАВ ИК / «Венера-Экспресс»: 2006-2014

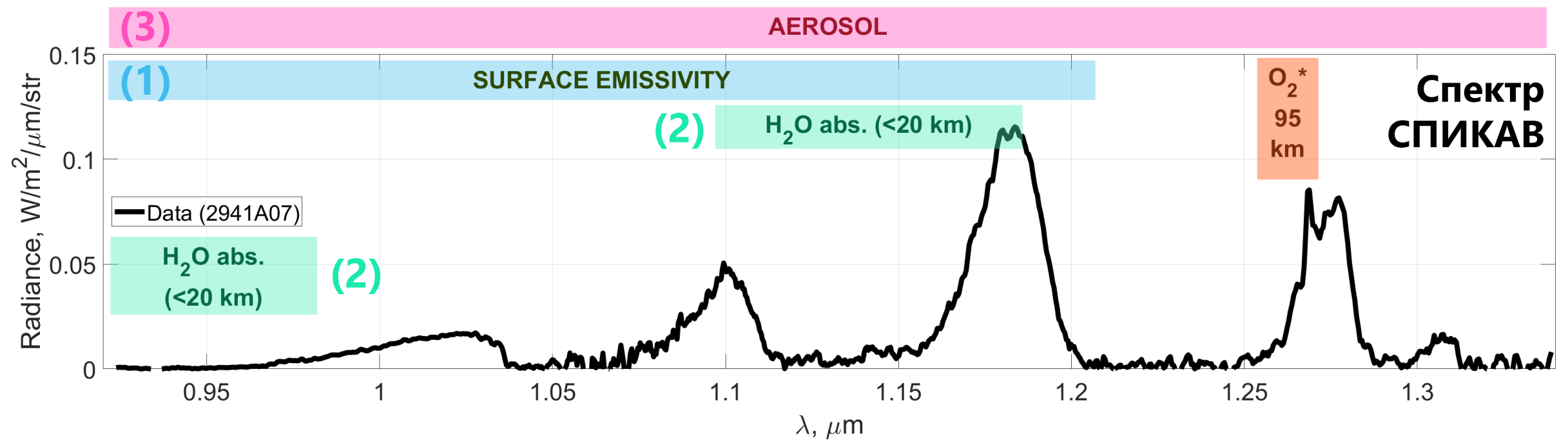
Спектр определен:

(1) T и излучательной способностью поверхности

max - 0.95

(2) содержанием H₂O → VMR ~ 30 ppt

(3) оптической толщиной облачного слоя (H₂SO₄) на 47-70 км



Изменчивость облачного слоя

VIRTIS/Venus Express (южное полушарие)

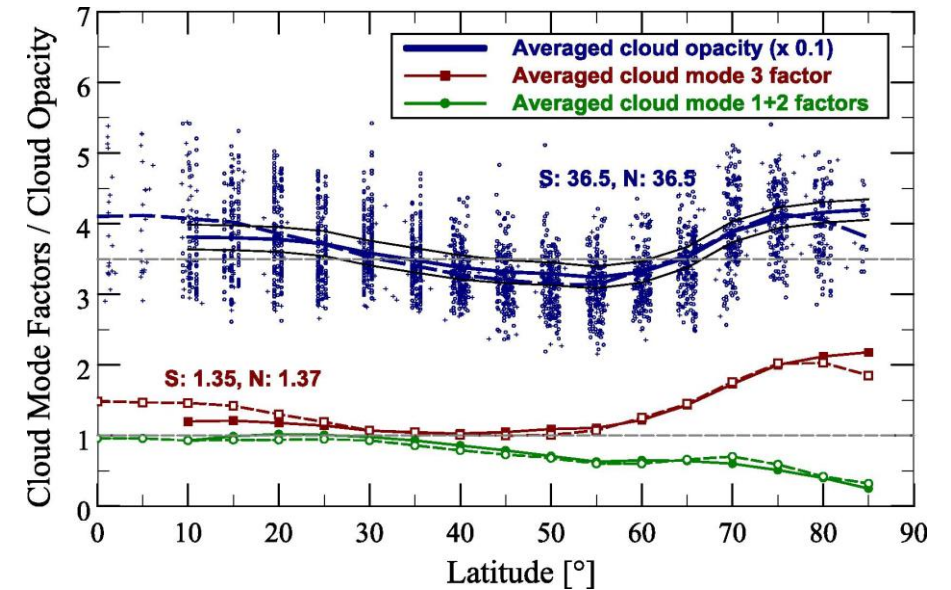
Haus et al., 2014

- уменьшение опт. толщины в средних широтах
- зависимость размера частиц от широты

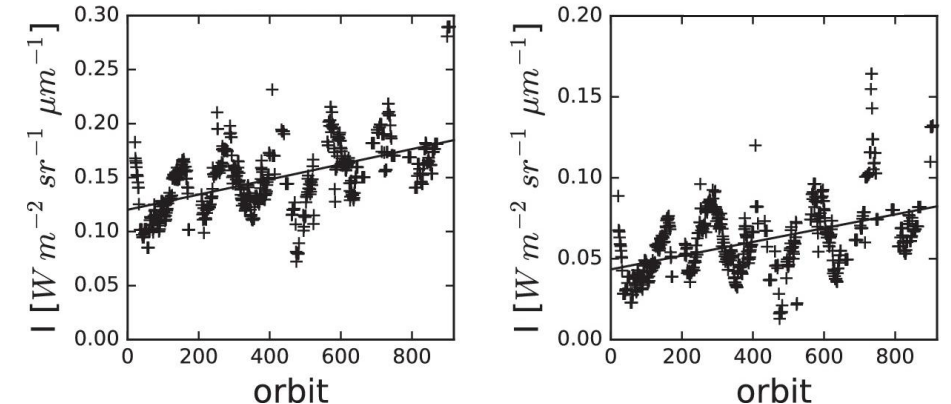
McGouldrick & Tsang, 2017; 2023

Наблюдение «окон прозрачности» на 1.74 и 2.30 мкм

- периодичность 150 дней
- периодичность проявляется в средних широтах



Lat. 30-60°



1D модель переноса излучения с многократным рассеянием

DISORT4 – метод дискретных ординат в псевдо-сферическом приближении (Stamnes et al., 1988)

Параметры

Модель облаков 4 моды аэр. частиц (Haus et al., 2016)
Сферические частицы, 75% H_2SO_4

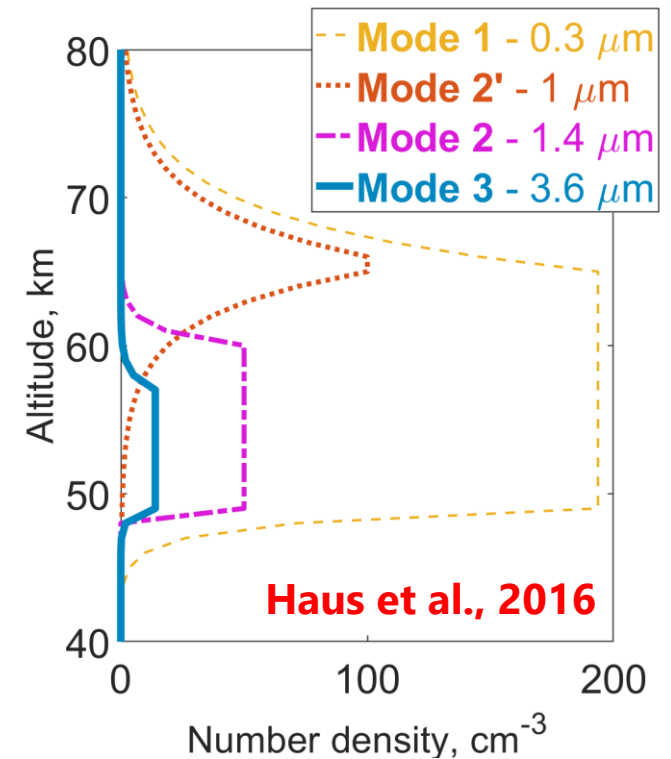
температура/давление **VIRA** (Seiff et al., 1985) or **VCD** (Martinez et al., 2023)

H_2O volume mixing ratio **Constant**

Поглощение CO_2 & H_2O & HDO AMES & VTT (Huang et al., 2014; Voronin et al., 2010)
MT_CKD Water Vapor Continuum Model (Mlawer et al., 2023)

Молекулярное рассеяние **CO_2** (Sneep and Ubachs, 2005; Luginin et al., 2016)

Топография поверхности **Данные Magellan** (Saunders et al., 1992)



1D модель переноса излучения с многократным рассеянием

DISORT4 – метод дискретных ординат в псевдо-сферическом приближении (Stamnes et al., 1988)

Свободные параметры

SF: масштабирование счетных концентраций аэрозольных частиц мод 2, 2' and 3

VMR: относительное содержание H_2O

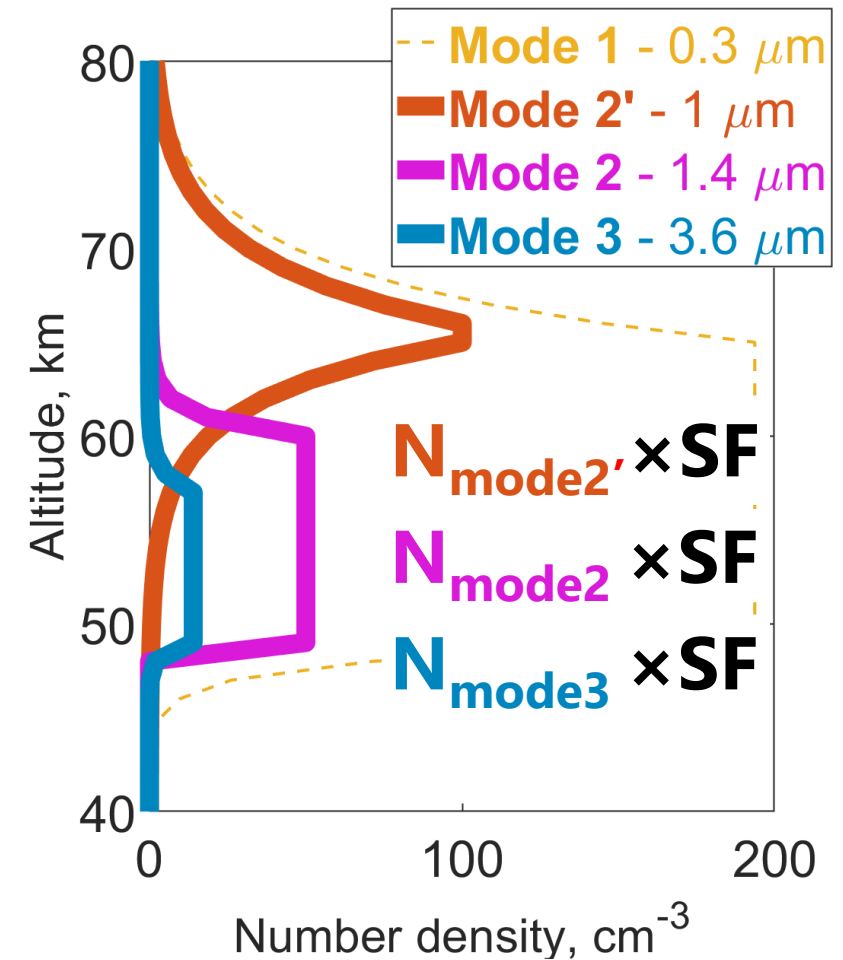
Неопределенности модели

Излучательная способность поверхности

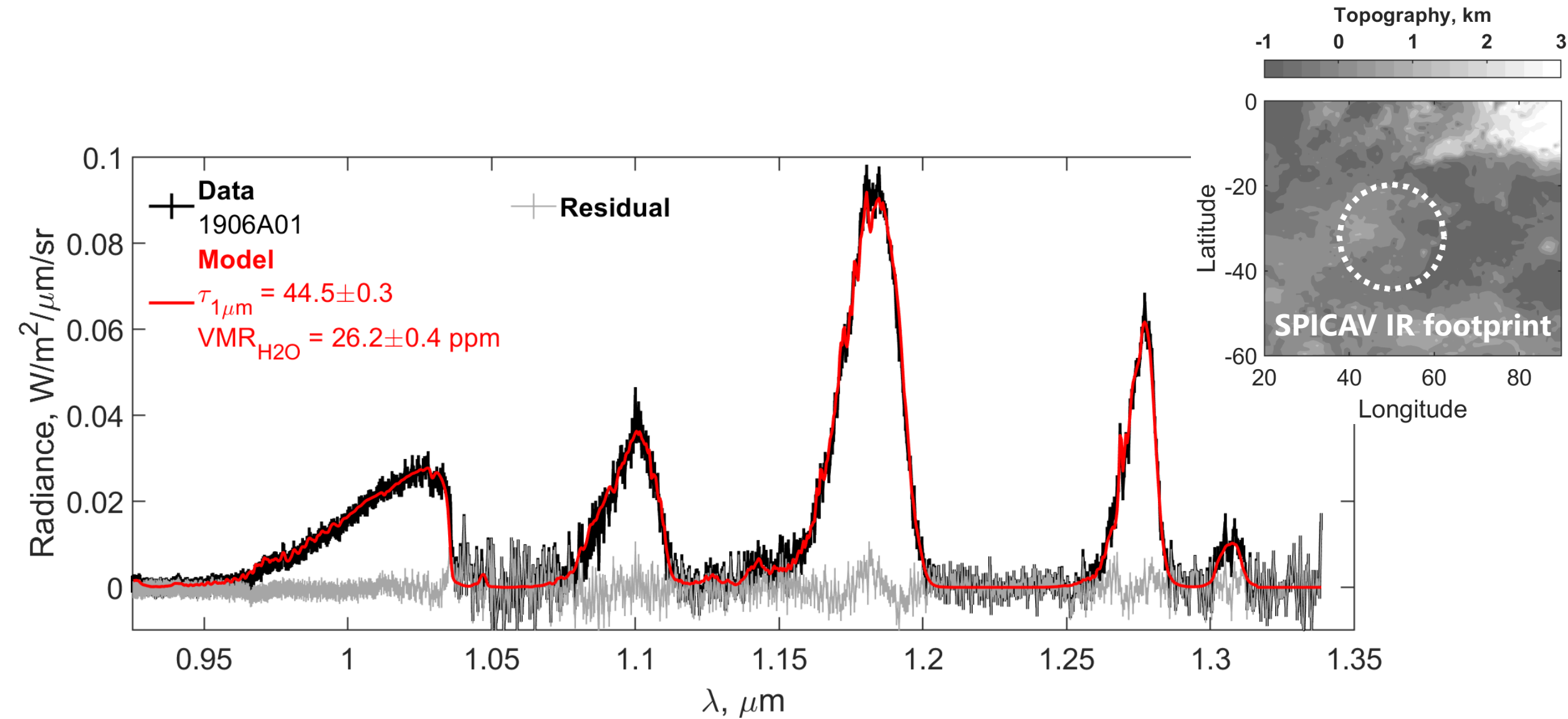
CO_2 континуум

Структура атмосферы по VIRA или VCD

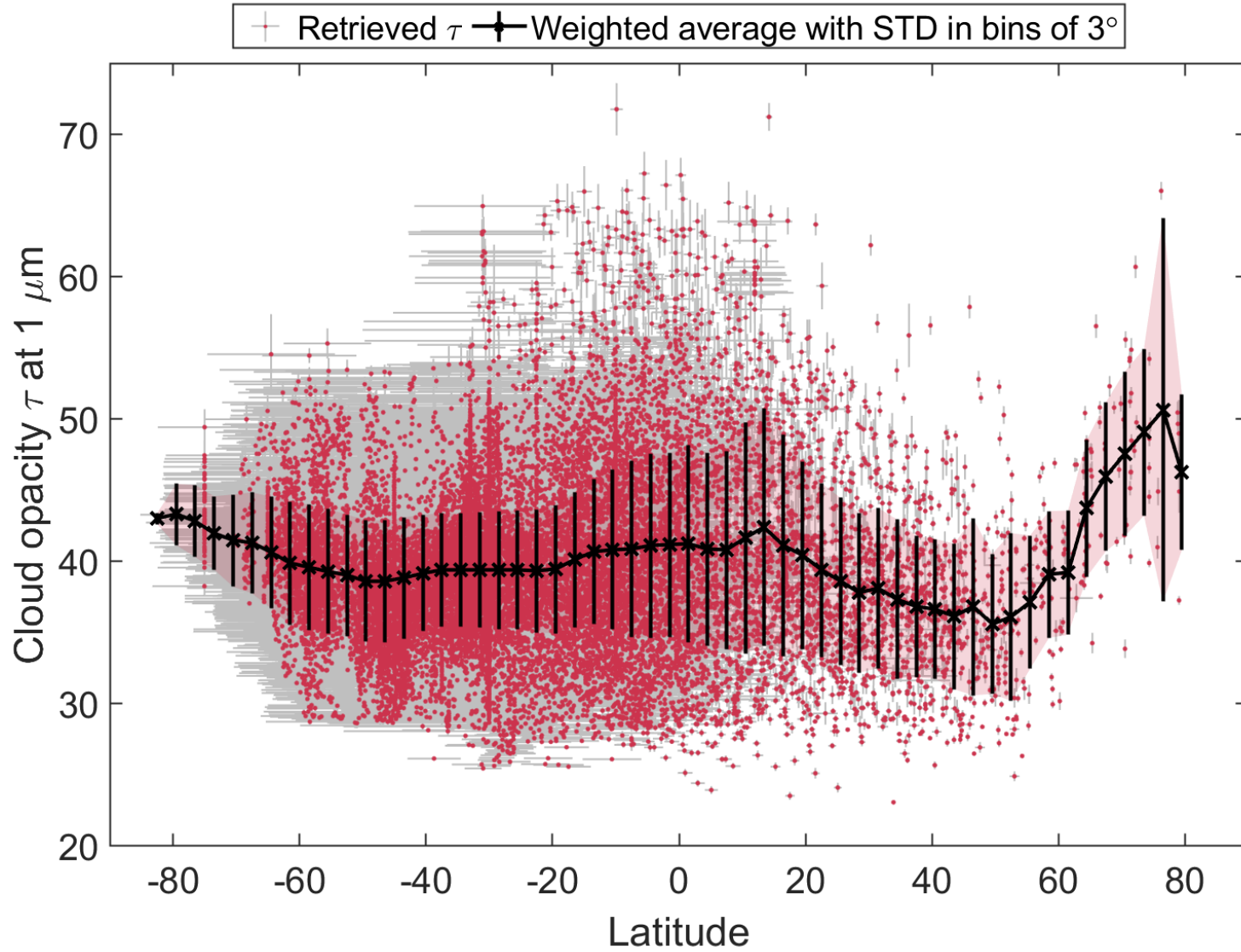
Свечение O_2 ($\alpha^1\Delta_g$): Bertaux et al., 2020



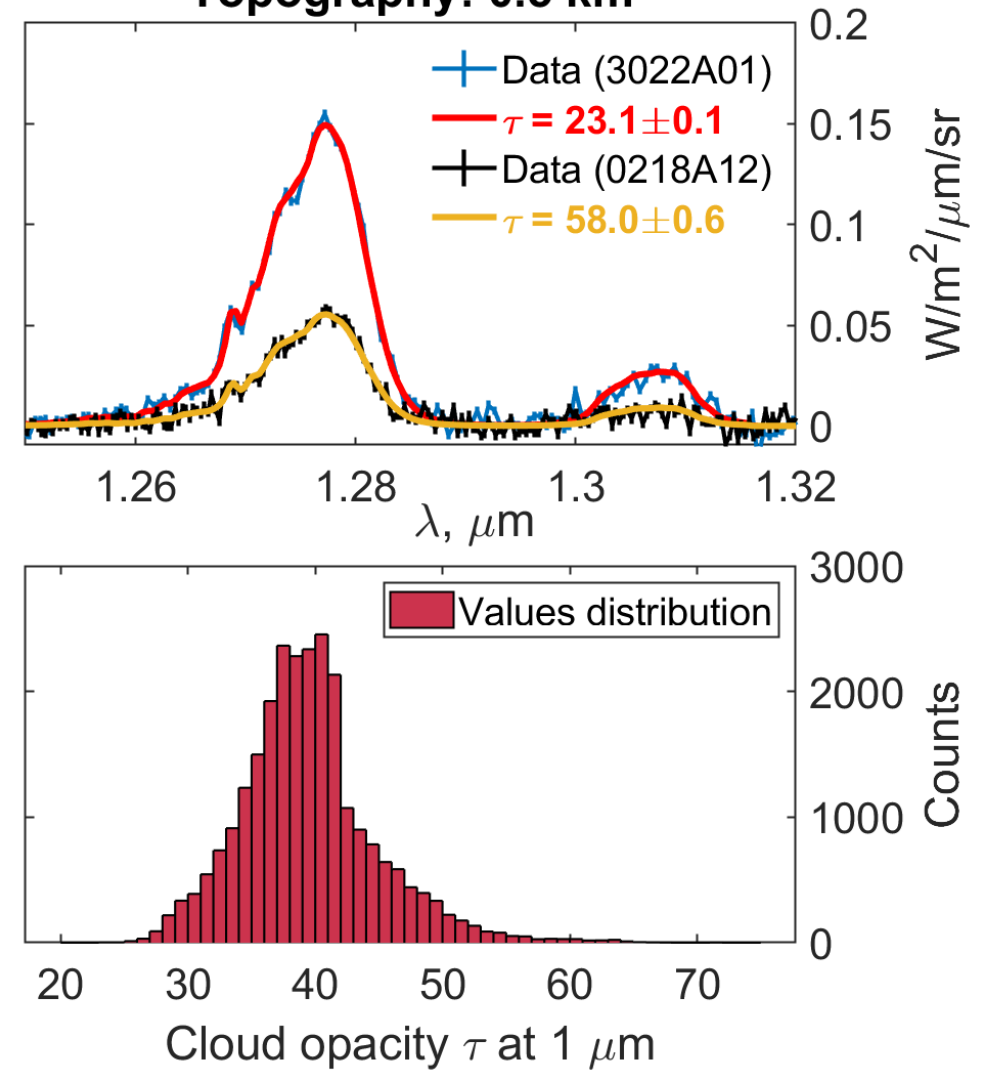
Пример анализа спектра



Результат: оптическая толщина облаков

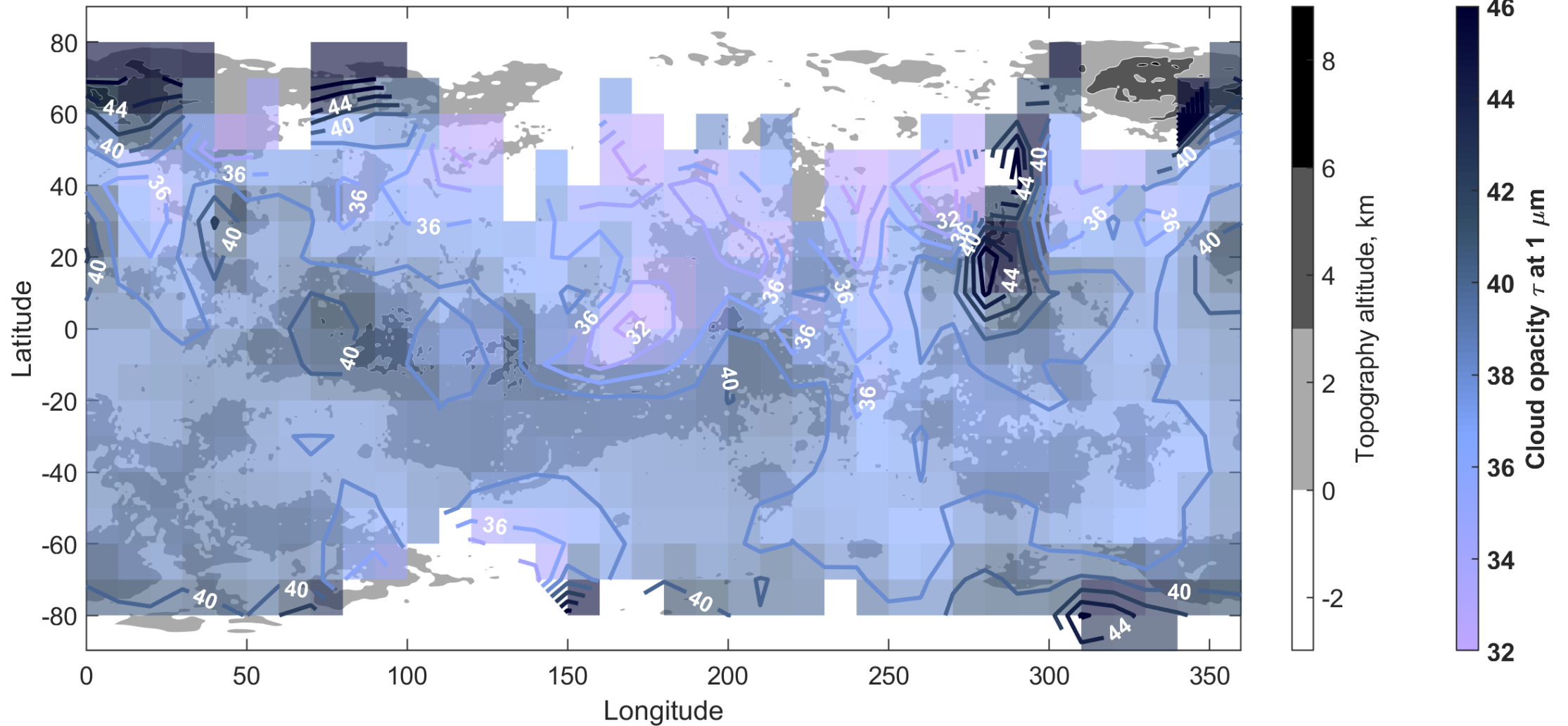


Topography: 0.5 km



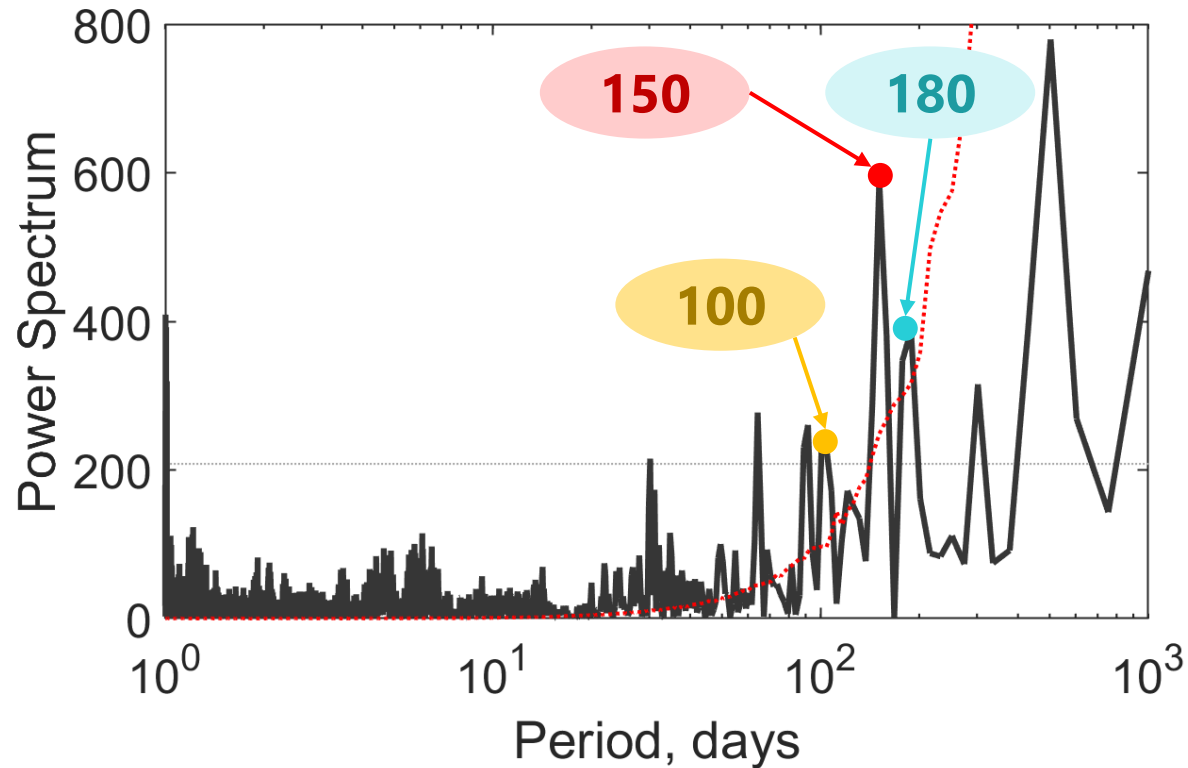
Результат: средняя оптическая толщина облаков

$$\tau_{1 \mu\text{m}} = 37 \pm 6$$

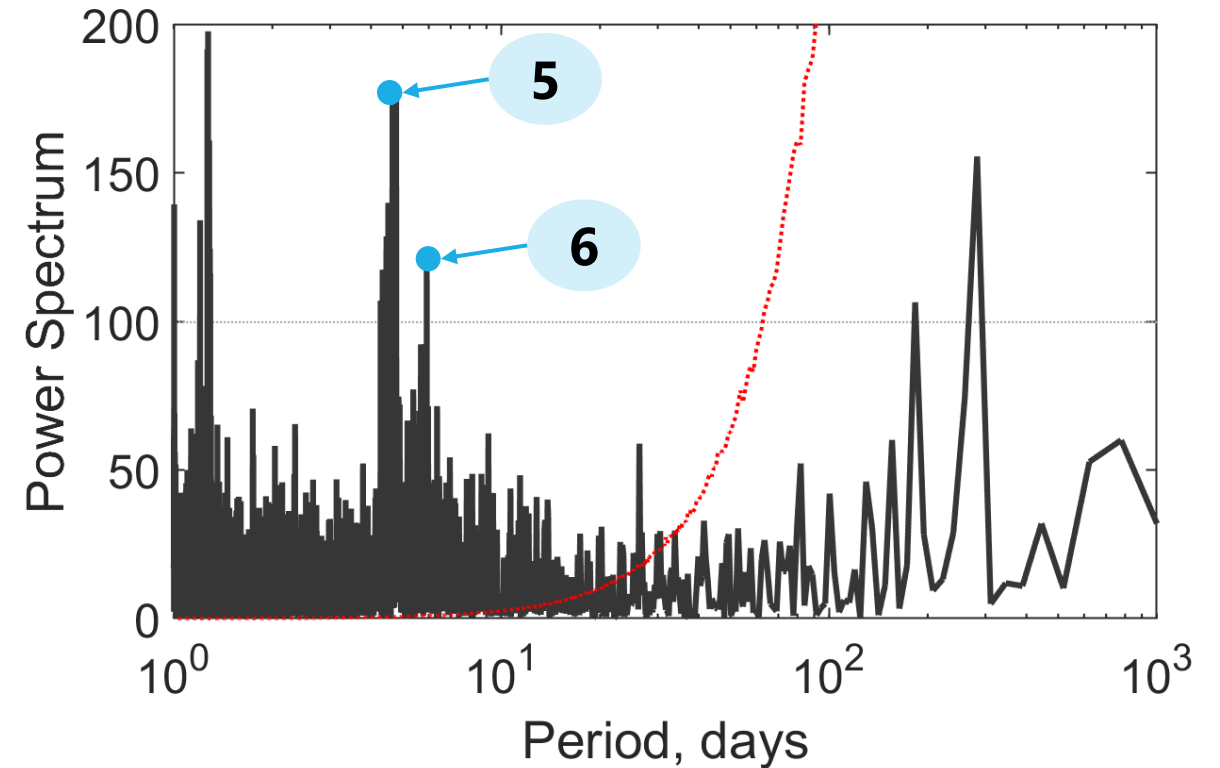


Результат: изменение оптической толщины облаков

Широты 30-60°

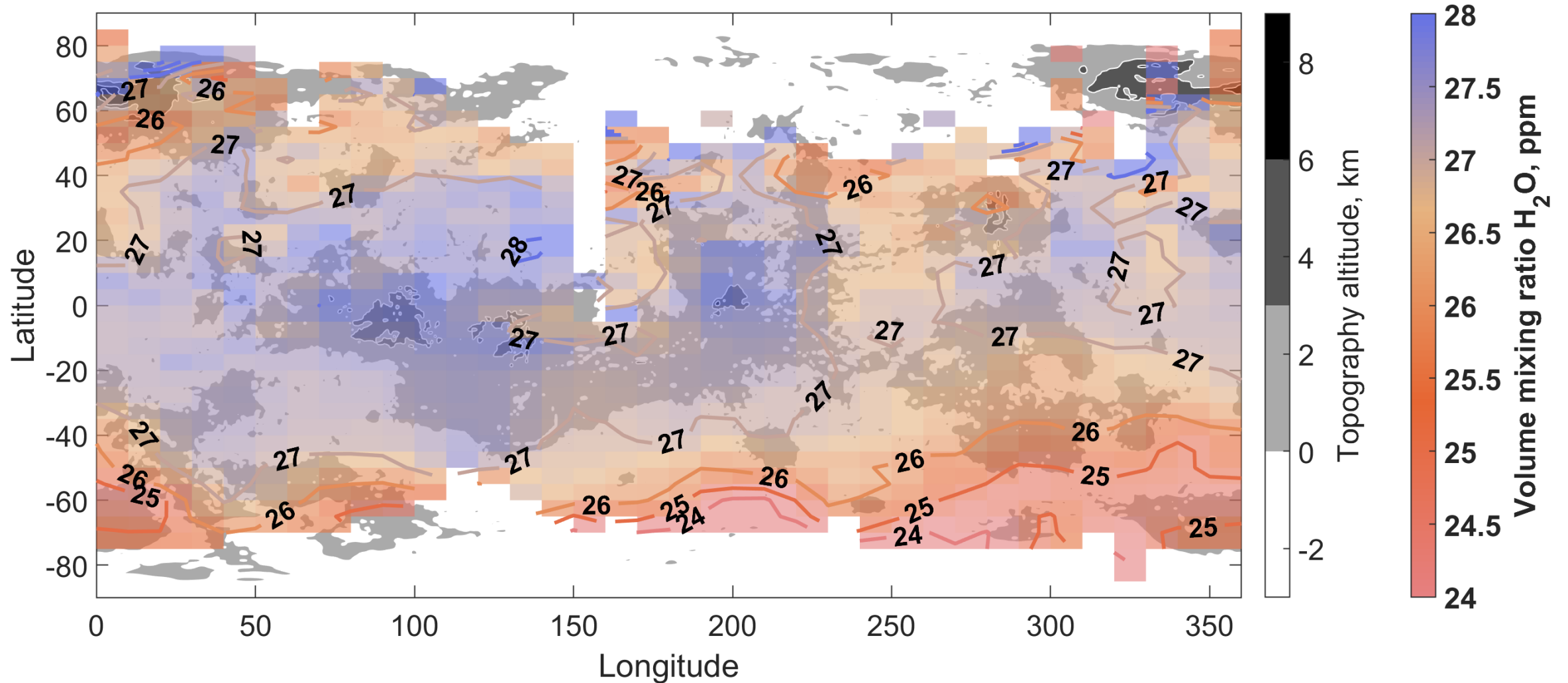


Широты 0-30°



— Power spectrum: all data 2σ level accounting for auto-correlation

Результат: среднее содержание H_2O = 26.8 ± 1.5 ppm



Неопределенности параметров модели

CO₂ & H₂O континуальное поглощение

Оптическая толщина облаков

CO₂ континуум ограничен по спектрам окон 1.28 & 1.3 мкм

VIRA / VCD верт. профили T и p

Изменение ~1

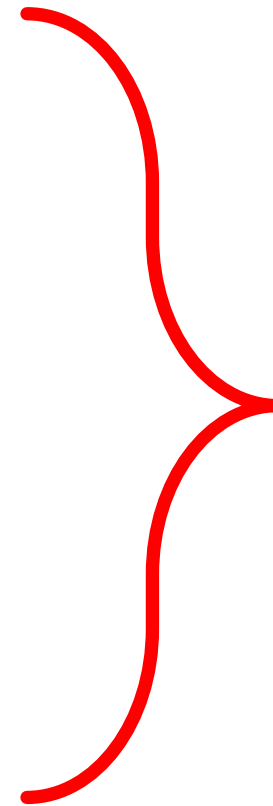
Неопределенности параметров модели

Относительное содержание H_2O

CO_2 & H_2O континуум

**VIRA / VCD верт.
профили T и p**

**Излучательная
способность**



**Значения
ограничены
диапазоном
24-30 ppm**

Выводы

- Получены данные оптической толщины облаков за 8 лет наблюдений СПИКАВ ИК
- Широтная зависимость оптической толщины облаков:
минимум на $\sim 50^\circ$ с.ш.
- Изучена долгосрочная изменчивость оптической толщины облаков

- Водяной пар: 23-27 ppm на высотах 0-20 км
- Не обнаружено временных или пространственных закономерностей для H_2O
- Неопределенности в спектроскопии приводят к 15%-ному изменению полученного относительного содержания H_2O

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ЕЖЕГОДНЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ

«**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА**»

Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, природных и антропогенных объектов



Евдокимова Д. Г.* и др.

Изучение тропосферы Венеры по данным наблюдений СПИКАВ-ИК в окнах прозрачности

* daria.evdokimova@cosmos.ru

Спасибо за внимание!

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, грант #23-72-01064