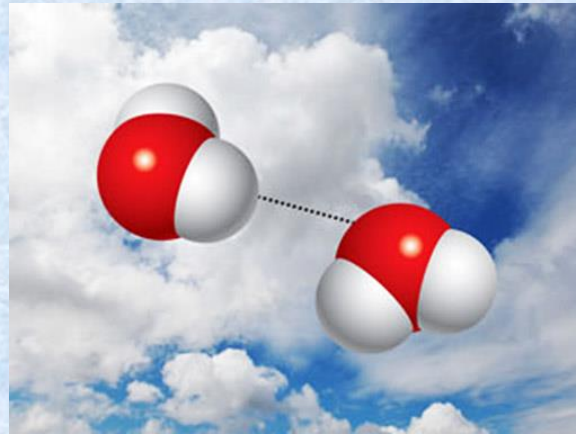




# Водяной пар в радиационном балансе атмосферы. Континуальное поглощение водяного пара.

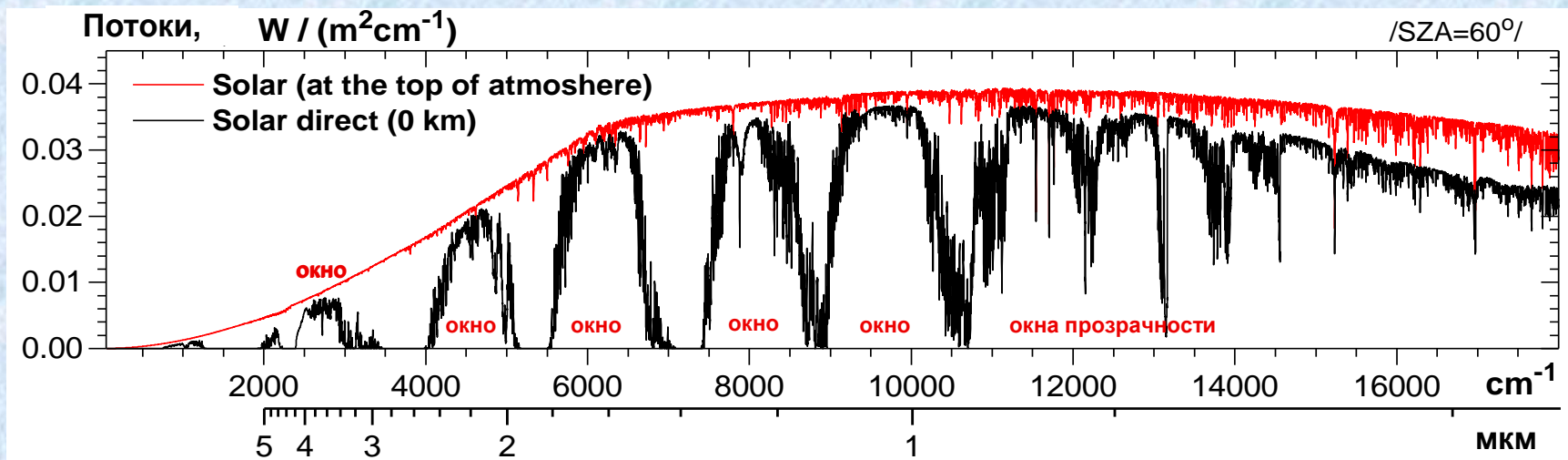
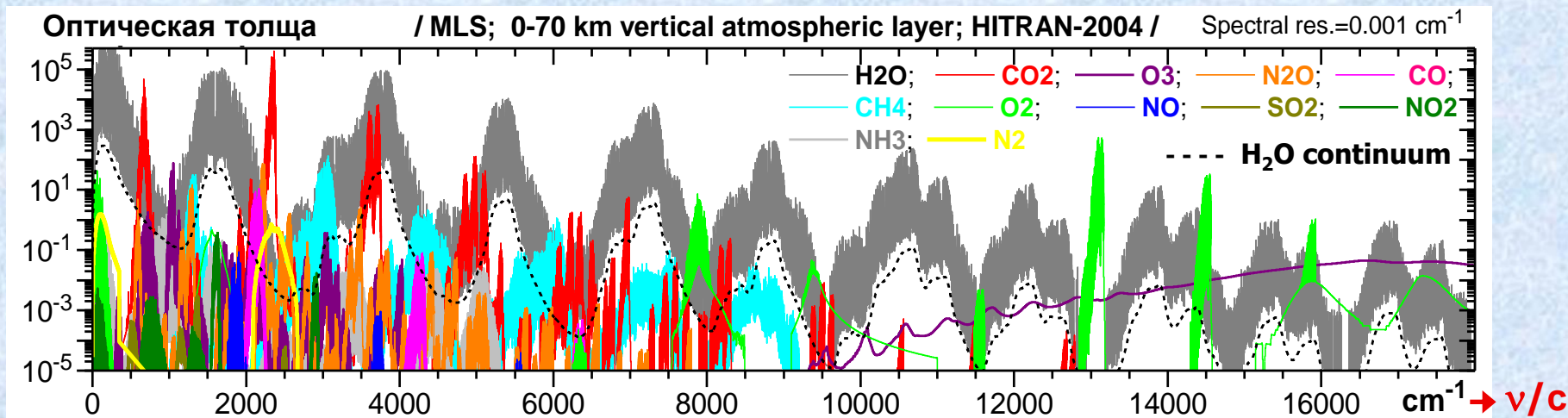
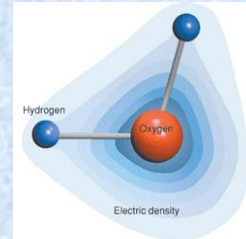
Игорь Пташник

д.ф.-м.н, директор Института оптики атмосферы СО РАН

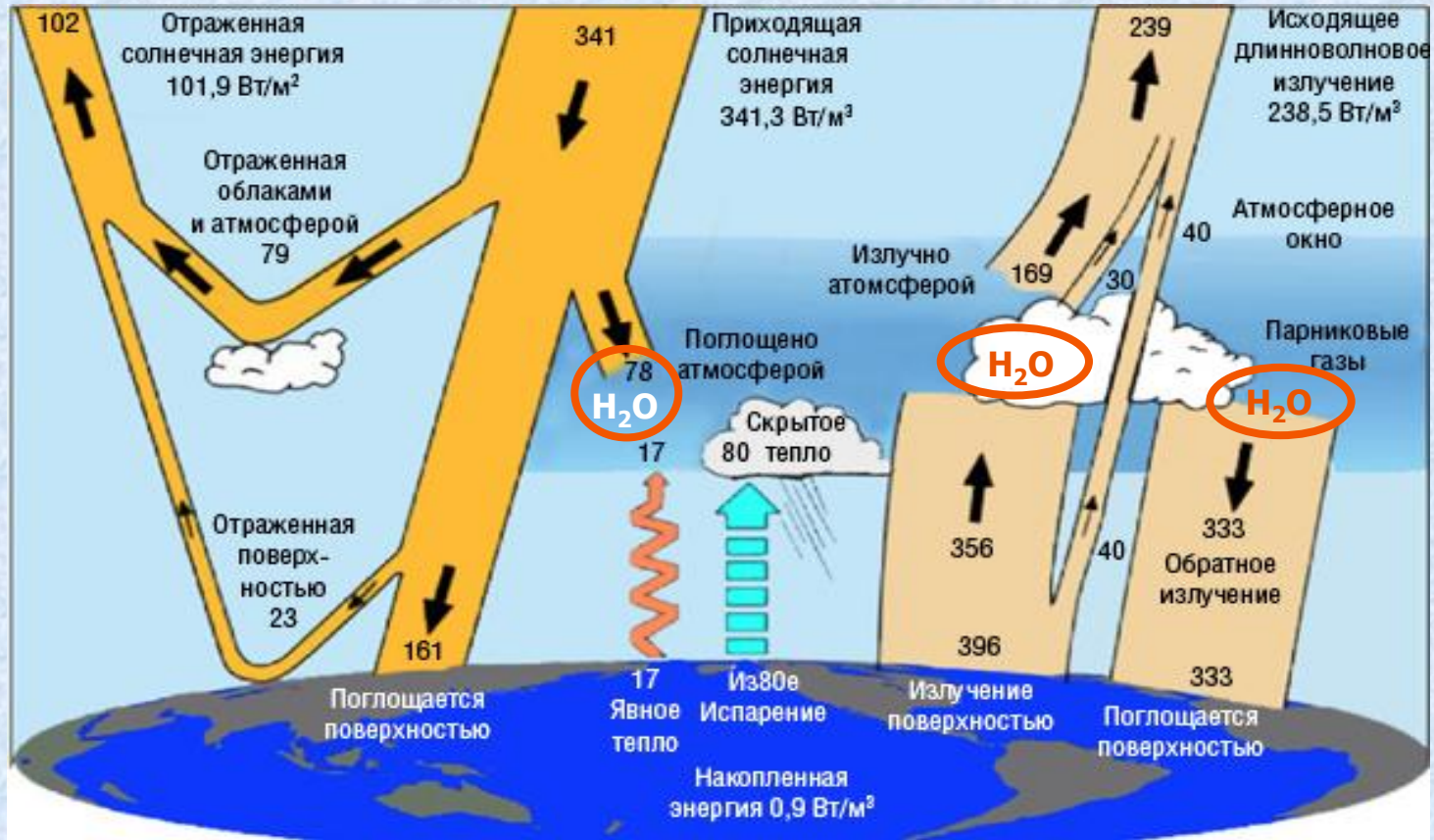


# Селективное и континуальное поглощение водяного пара

Вследствие уникальной структуры  $H_2O$  (постоянный дипольный момент, асимметрия, легкие атомы водорода) поглощение излучения в атмосфере Земли водяным паром -- доминирует над другими газами от микроволн до видимого диапазона, отвечая за ~70% поглощенного излучения в атмосфере. Именно полосы поглощения  $H_2O$  обуславливают основные "провалы" в приземном спектре солнечного излучения.



# Радиационный баланс Земли



Trenberth K., Fasullo J. (Surv. Geophys., 2011)

$$\Delta T \text{ [град]} = \lambda \cdot \Delta F \text{ [Вт/м}^2\text{]}$$

$\Delta T$  – изменение температуры  
 $\lambda$  – климатическая чувствительность  
 $\Delta F$  – радиационный форсинг

1) **H<sub>2</sub>O** – сильный парниковый газ.

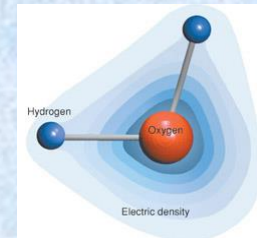
2) Содержание **H<sub>2</sub>O** в атмосфере растет с **T** поверхности → положительная обратная связь.

В итоге, водяной пар удваивает радиационный форсинг любого другого воздействия.

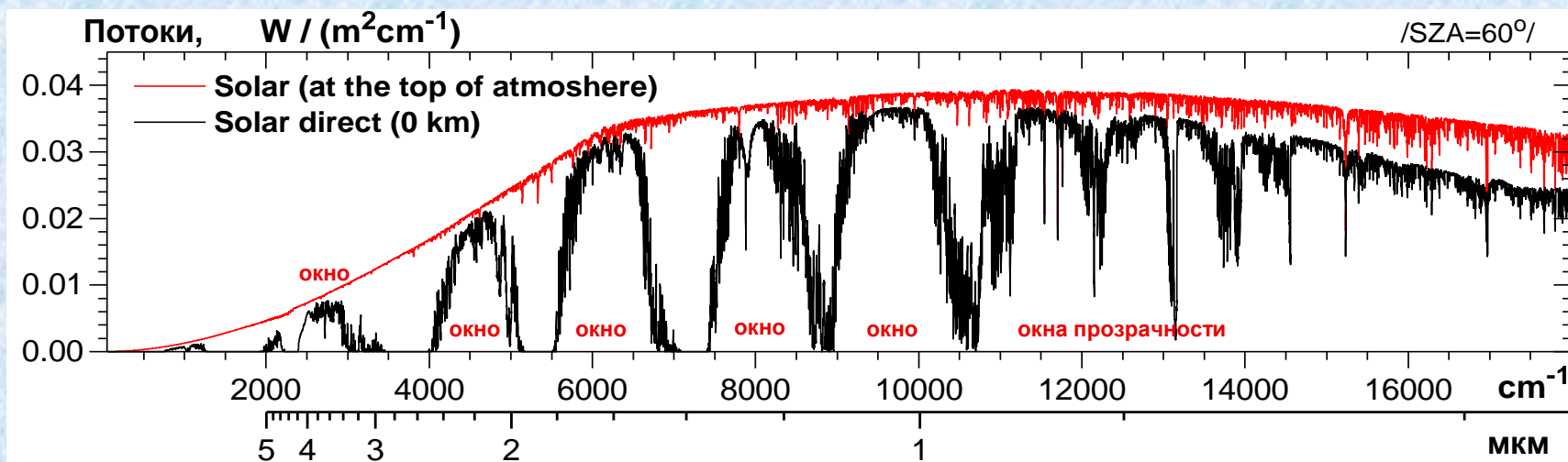
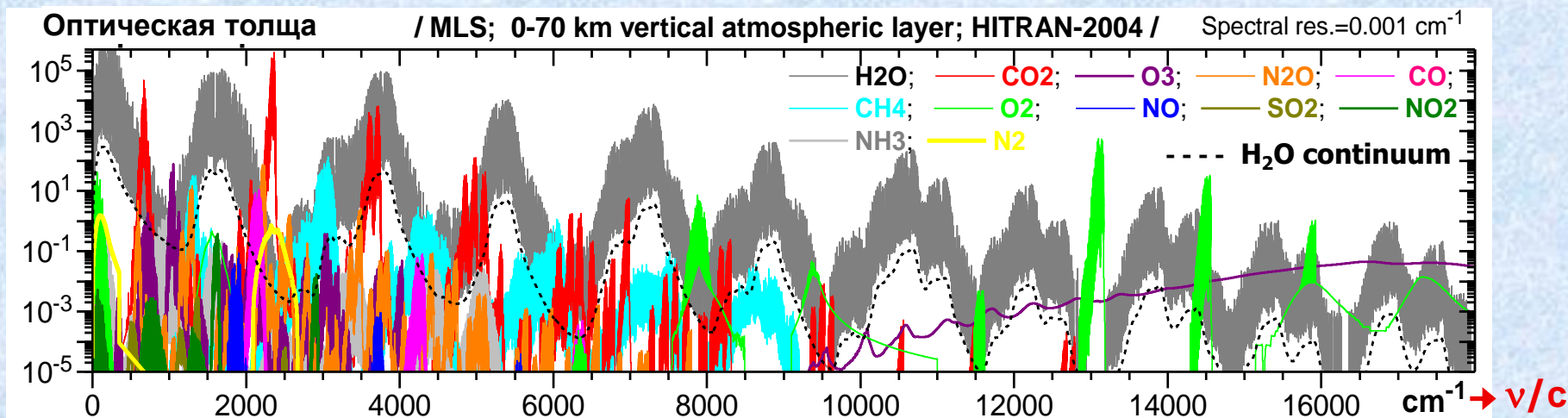
Например: **2 x CO<sub>2</sub> → 3.7 Вт/м<sup>2</sup> → ΔT ≈ 1.2 C** (без обр. связи) и **ΔT ≈ 3 C** (с обр. связью)

# Селективное и континуальное поглощение водяного пара

Кроме селективного поглощения (линий)  $H_2O$  существует также малоизученное слабоселективное **континуальное поглощение** излучения водяным паром (модель ---). **Определяет поглощение в окна прозрачности атмосферы.**

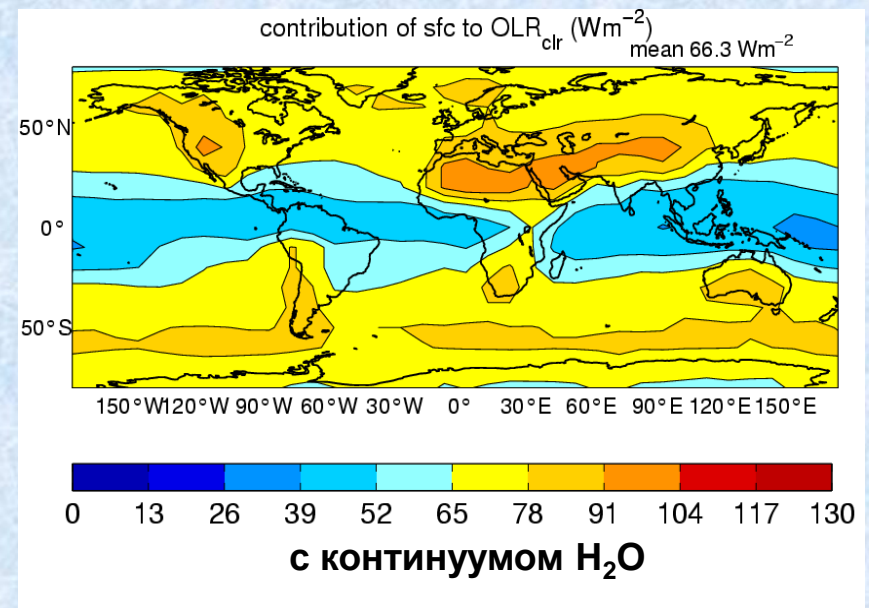
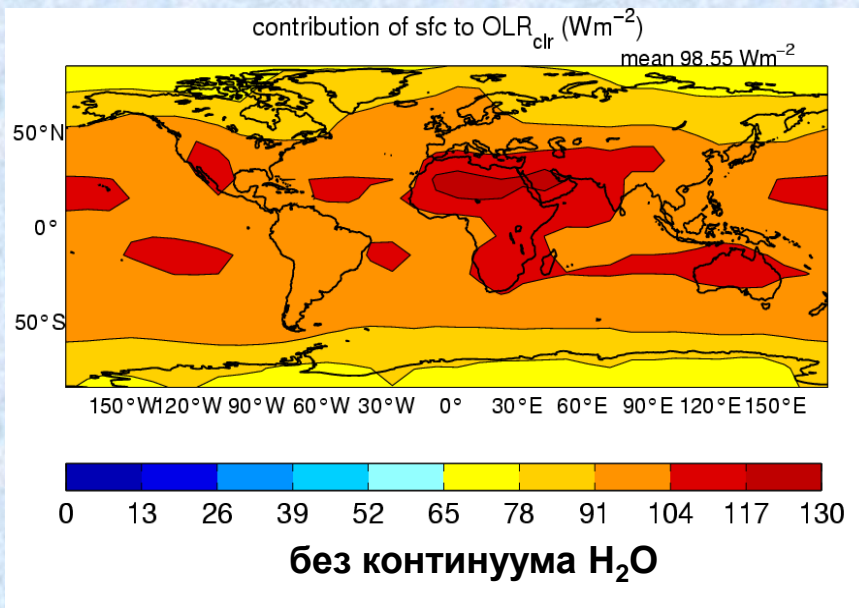


**Грант NERC, 2001-2004:** Континуальное поглощение – это самая неопределённая компонента поглощения излучения водяным паром в атмосфере.



## Континуальное поглощение водяного пара

- Погрешность в величине континуального поглощения достигала 100% в некоторых спектральных участках (особенно, в ближнем ИК).
- Значительно влияет на энергетический баланс атмосферы, уменьшая количество уходящего теплового излучения (OLR) на 25-30%.

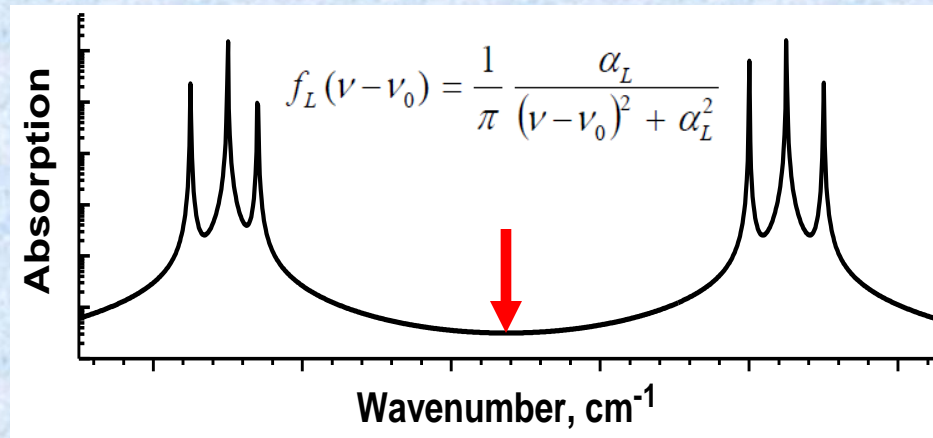


### Фундаментальный аспект

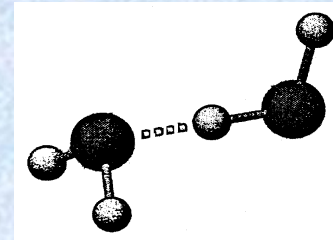
- Природа континуума является предметом горячих дискуссий на протяжении уже 50 лет: дальние крылья линий мономера воды или димеры воды?

## Континуальное поглощение. Предыстория.

- 1918, *Hettner* - Континуальное поглощение было обнаружено в области "окна" прозрачности атмосферы 8-14  $\mu\text{m}$ .
- 1938, *Elsasser* – Объяснено суммарным вкладом дальних крыльев сильных линий полос поглощения  $\text{H}_2\text{O}$



- 1966, Викторова & Жевакин (микроволновой); 1967, Penner & Varanasi (средний ИК) – Основной вклад в континуум водяного пара обусловлен не мономерами, а димерами воды  $(\text{H}_2\text{O})_2$ :



# Димеры воды или дальние крылья линий мономера?

(более 50 лет...)

**Викторова & Жевакин**, Докл. Академии наук СССР (1966) => **microwave**

**Penner & Varanasi**, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.* (1967) => **middle-IR**

## Димеры воды

- **Bignell**, *QJ RMS* (1963, 1970)
- **Burch**, Semi-Annual Rep. *ARPA* (1970)
- **Penner, Varanasi & Chou** *JQSRT* (1967, 1968)
- **Roberts, Selby, Biberman**, *Appl. Opt.* (1976)
- **Aref'ev, Dianov-Klokov**, *Optics & spectrosc.* (1977)
- **Suck, Kassner and Yamaguchi**, *Appl. Opt.* (1979)
- **Suck, Wetmore, Chen, Kassner**, *Appl. Opt.* (1982)
- **Vigasin**, *Izv. Akad. Nauk SSSR*, *FAO* (1983)
- **Vigasin, Chlenova**, *Izv. Akad. Nauk SSSR* (1984)
- **Hinderling, Sigrist, Kneubuhl**, *Infrared Physics* (1987)
- **Devir, Neumann, Lipson, Oppenheim**, *Opt. Eng.* (1994)
- **Vigasin**, *JQSRT* (2000), *Kluwer Acad. Publishers* (2003)
- **Ptashnik, Smith, Shine, Newnham**, *QJ RMS* (2004)
- **Daniel, Solomon, Kjaergaard, Schofield**, *GRL* (2004)
- **Cormier, Hodes, Drummond**, *J. Chem. Phys.* (2005)
- **Scribano and Leforestier**, *J. Chem. Phys.* (2007)
- **Vigasin, Jin, Ikawa**, *Molec. Phys.* (2008)
- **Paynter D, Ptashnik I, Shine K, Smith**, *Geoph. Res. Lett.* (2008)
- **Ptashnik, Vigasin, Shine**, *JQSRT* (2011)
- **Ptashnik, Shine, McPheat, Smith, Williams**, *J. Geoph. Res.* (2011)
- **Tretyakov, Serov, Koshelev et al.** *Phys. Rev. Lett.* (2013)
- .....

## Дальние крылья линий

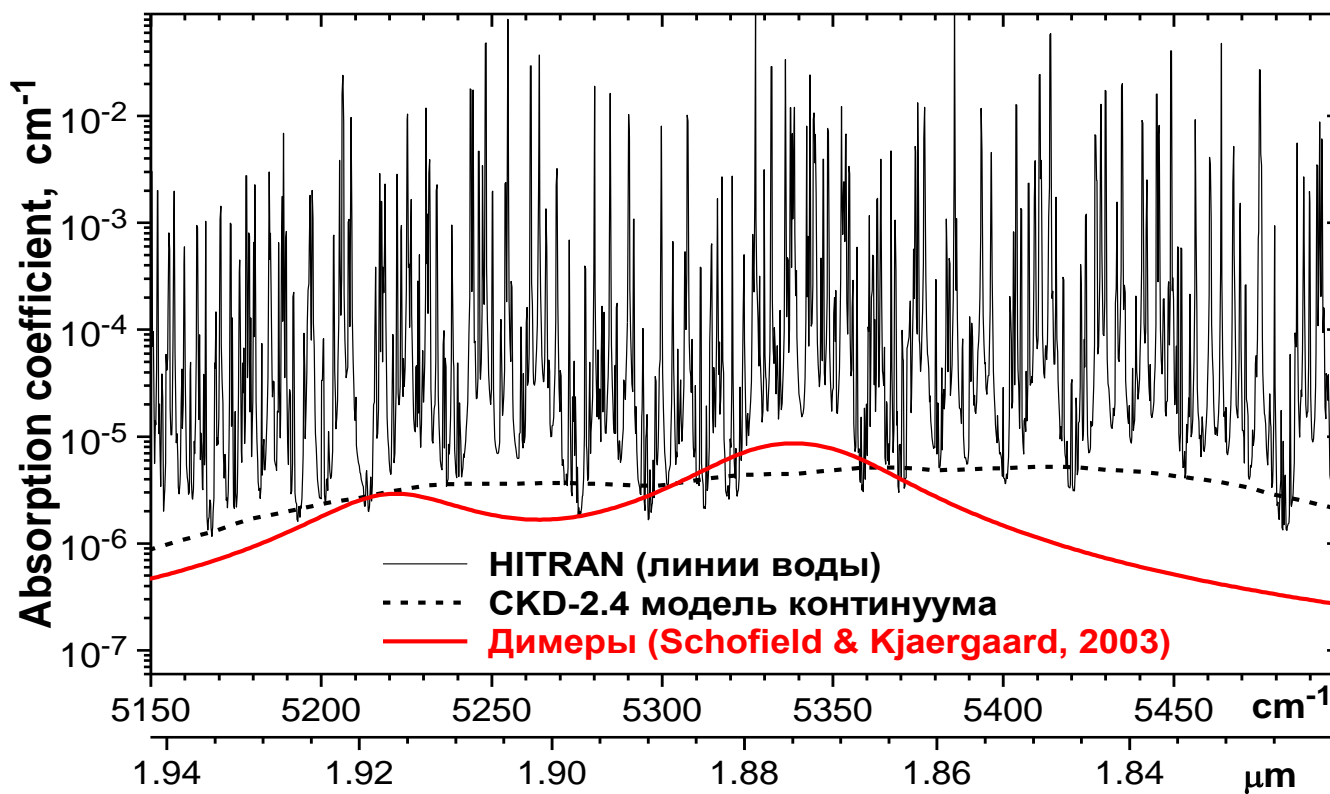
- **Elsasser**, *Phys. Rev.* (1938)
- **Nesmelova, Tvorogov, Fomin**, *Nauka* (1977)
- **Nesmelova, Rodimova, Tvorogov**, *Nauka* (1986)
- **Thomas & Nordstrom**, *JQSRT* (1982).
- **Rosenkrantz**, *J. Chem. Phys.* (1985)
- **Rosenkrantz**, *J. Chem. Phys.* (1987);
- **Clough, Kneizys, Davies**, *Atmos. Res.* (1989)
- **Ma & Tipping**, *J. Chem. Phys.* (1992)
- **Tipping & Ma**, *Atmos. research* (1995)
- **Mlawer, Clough, Brown, Tobin**, *ARM* (1996)
- **Ma & Tipping**, *J. Chem. Phys.* (1999)
- **Ma & Tipping**, *J. Chem. Phys.* (2002)
- **Cormier, Ciurylo, Drummond**, *J. Chem. Phys.* (2002)
- **Ma & Tipping**, *JQSRT* (2003)
- **Mlawer, Tobin, Clough**, *JQSRT* (2004)
- **Ma, Tipping & Leforestier**, *J. Chem. Phys.* (2008)
- .....

Сегодня вклад димеров воды в континуум не оспаривается...

# Континуум водяного пара и димеры (NERC, UK, 2001-2004)

Vaida *et al.* (QJ RMS, 2001): димеры → Ptashnik *et al.* (QJ RMS, 2004): димеры и континуум  
Kjaergaard *et al.* (JPC, 2003)

Модельный спектр поглощения в 10 мбар водяного пара, 296 К



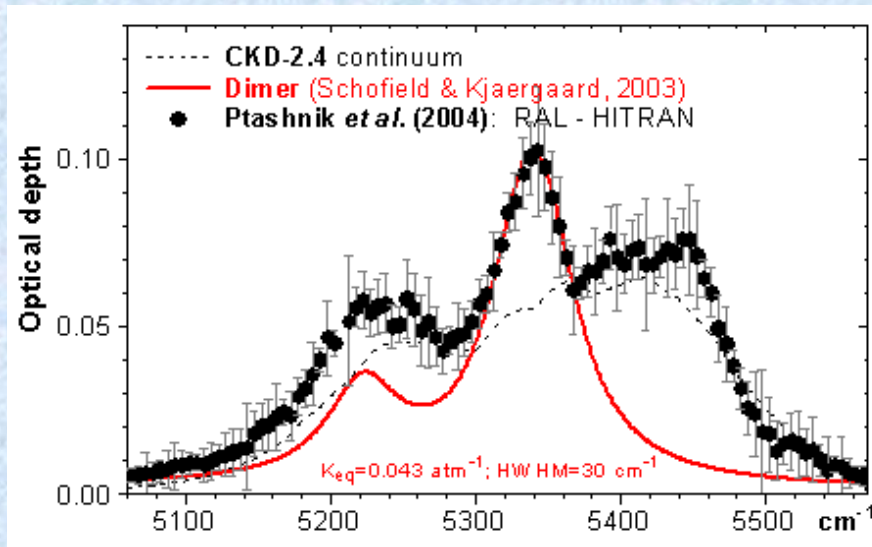
- 1) Поразительное качественное **спектральное сходство модели континуума и димеров.**
- 2) **Доказательство вклада димеров воды в континуум следует искать не в окнах прозрачности, а в многочисленных микроокнах в полосах поглощения водяного пара.**





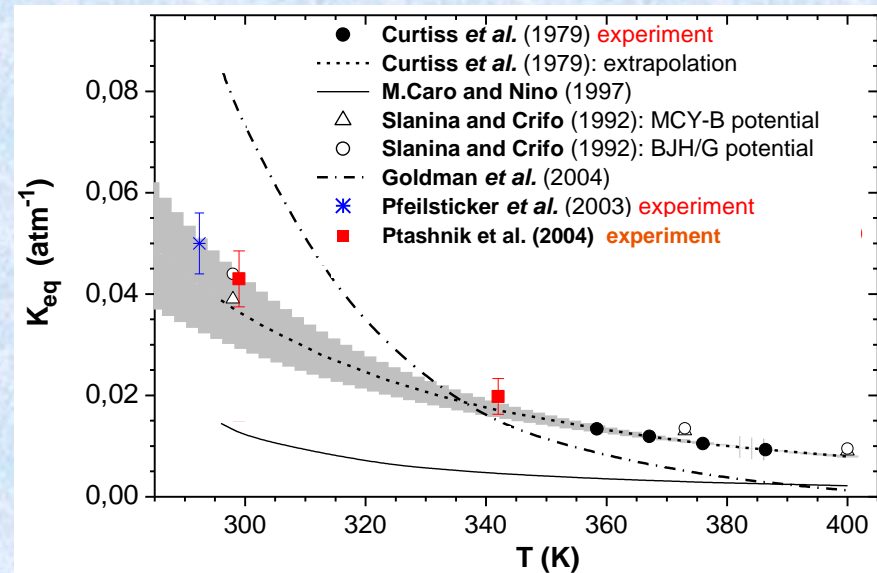
# Димеры воды в полосе 1.9 мкм

I. Ptashnik, D. Newnham, K. Shine, K. Smith, *Q.J. Royal Met.Soc.* (2004)



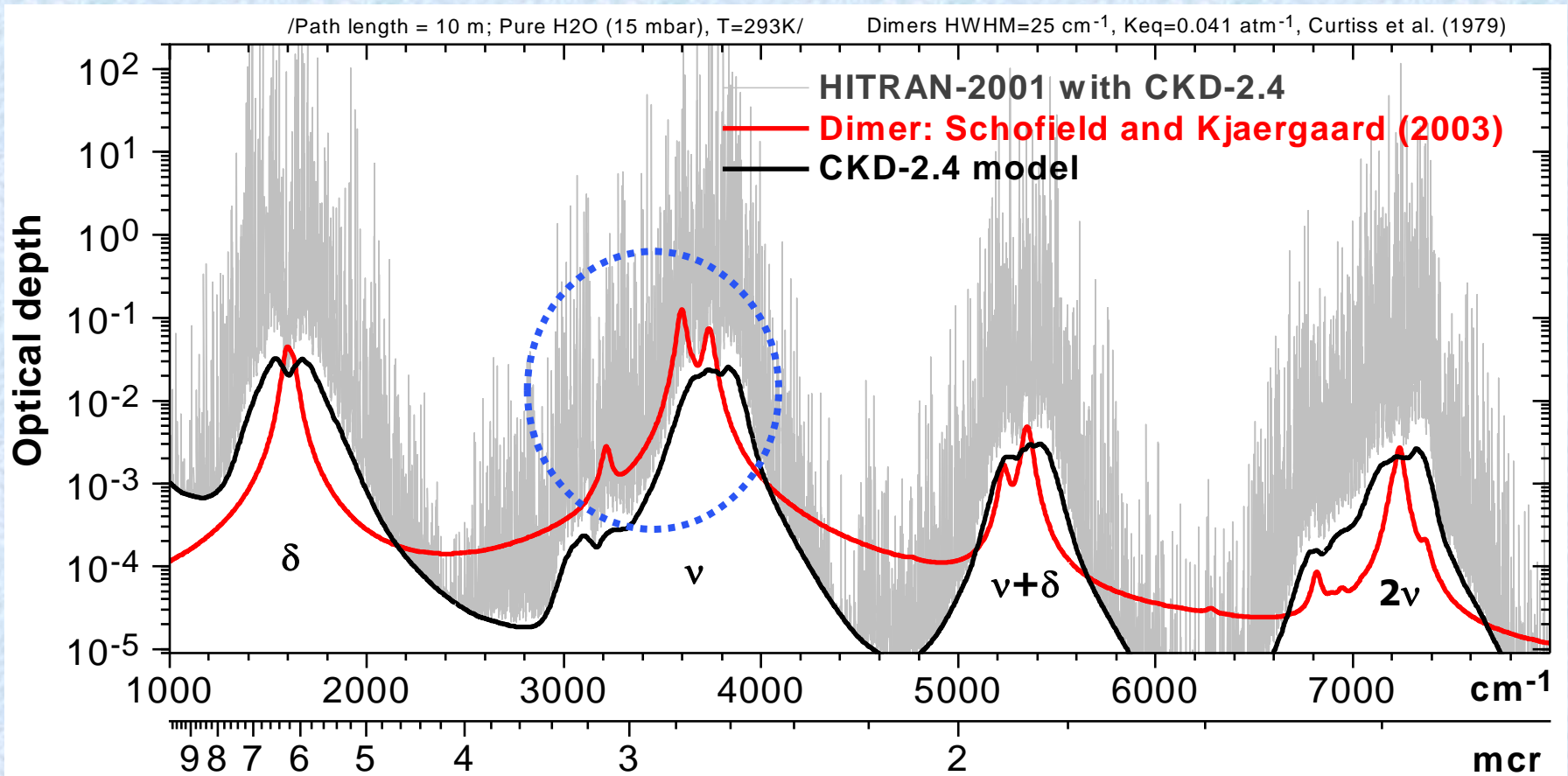
Эксперимент в  
Rutherford Appleton Laboratory  
(Великобритания)

$$P_{\text{Dimer}} = K_{eq}(T) P_{\text{H}_2\text{O}}^2$$



# Димеры воды в полосе 2.7 мкм

Модельные спектры димеров воды для 15 мбар чистого водяного пара



Измерения непрерывного поглощения водяного пара  
в ближней ИК области спектра в лабораторных условиях.

Измерения континуума Burch (1985) в полосе поглощения 2.7 мкм !

# Измерения континуума воды Burch в полосе 2.7 мкм

AFGL-TR-85-0036

ABSORPTION BY H<sub>2</sub>O IN NARROW WINDOWS BETWEEN 3000 and 4200 CM<sup>-1</sup>

Darrell E. Burch

Ford Aerospace & Communications Corporation  
Aeronutronic Division  
Ford Road, Newport Beach, CA. 92663

March 1985

Final Report for Period September 1981 - March 1985

Approved for public release, distribution unlimited

AIR FORCE GEOPHYSICS LABORATORY  
AIR FORCE SYSTEMS COMMAND  
UNITED STATES AIR FORCE  
HANSCOM AFB, MASSACHUSETTS 01731

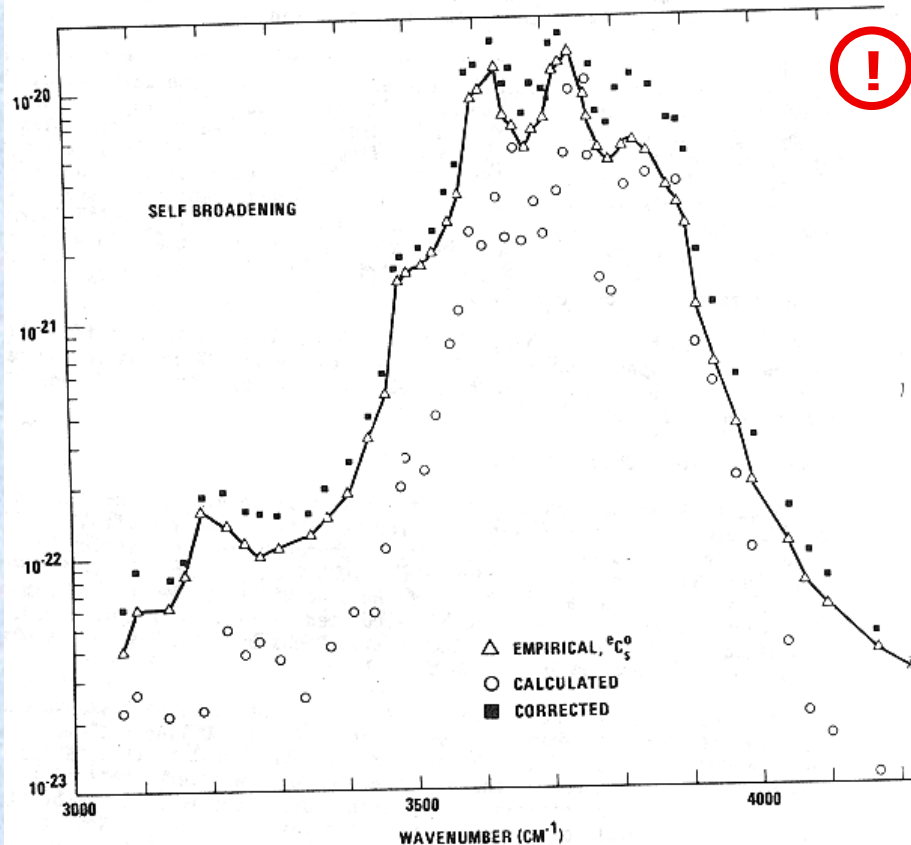


Figure 3: Spectral plots of the normalized absorption coefficients from 3000 to 4200 cm<sup>-1</sup> for self broadening. The circles represent monochromatic transmittance values calculated from line parameters and the Lorentzian line shape. The triangles represent empirical values derived from the ratio of the experimental transmittance values to the monochromatic values calculated from line parameters and convolved with an instrument slit function (see Eqs. 14, 15). The corrected

Burch ничего не знал о спектре димеров в 1985...

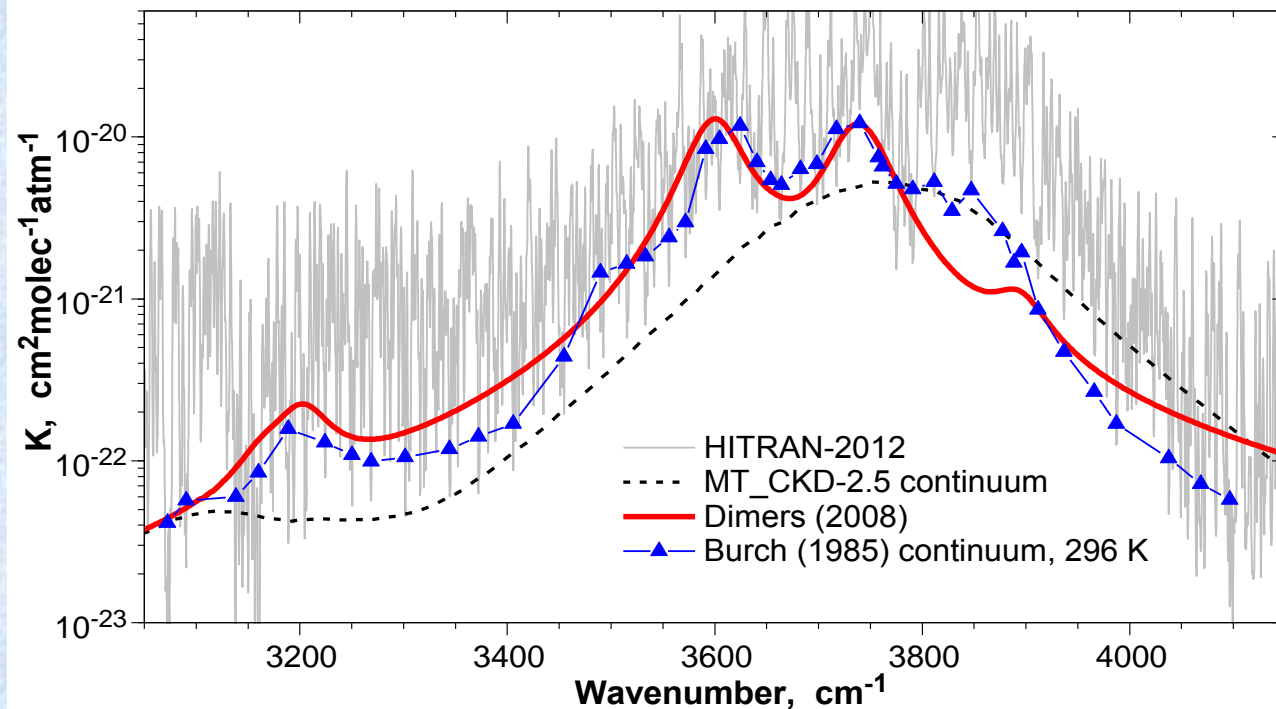
## Water dimers: an “unknown” experiment

I.V. Ptashnik

*Institute of Atmospheric Optics,  
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk*

Received March 9, 2005

It is shown that reliable evidences of significant contribution of water dimer absorption to the water vapor continuum in the spectral range of 3000–4200  $\text{cm}^{-1}$  can be revealed from well-known Burch's measurements.



**Интенсивности димеров:** VPT2 расчеты (*Kjaergaard et al.*, JPC-2008) + эксперименты по димерам воды в He микрокаплях (*Kyuanov et al.*, JCP-2010).

# Консорциум CAVIAR (Великобритания, 2007-2011 гг.)



SMPCS | Mathematics and Statistics | Meteorology |



Caviar Home

## Menu

[Caviar consortium](#)

[Publications](#)

[Data](#)

[Internal pages](#)

[About us](#)

## See also

- ▶ Research in the Department of Meteorology
- ▶ The Radiation group

## Contacts

- ▶ Emails:  
[k.p.shine@reading.ac.uk](mailto:k.p.shine@reading.ac.uk)  
[i.v.ptashnik@rdg.ac.uk](mailto:i.v.ptashnik@rdg.ac.uk)
- ▶ Telephone:  
+44 (0) 118 378 8405

## CAVIAR

**CAVIAR** (Continuum Absorption at Visible and Infrared wavelengths and its Atmospheric Relevance) was a [NERC](#) (80%) and [EPSRC](#) (20%) **Consortium Grant** (Oct. 2006 - June 2011), involving the following UK universities and institutions:

- [Imperial College](#)
- [Met Office](#)
- [National Physical Laboratory](#)
- [Rutherford Appleton Laboratory](#)
- [University College London](#)
- [University of Cambridge](#)
- [University of Leicester](#)
- [University of Reading](#)

The project was led by [Prof. Keith P. Shine](#) at the University of Reading; scientific co-ordination was by [DrSc. Igor V. Ptashnik](#) who has now returned to the [VE Zuev Institute of Atmospheric Optics](#) in Tomsk, Russia. Although the formal CAVIAR project has ended, the publications of our CAVIAR-related work are updated regularly, and the main CAVIAR continuum data is also available.

CAVIAR addressed the component of the absorption of electromagnetic radiation by water vapour which varies relatively slowly with wavelength, known as the [water vapour continuum](#).

The continuum has a significant impact on fluxes of infrared radiation and atmospheric cooling rates, with consequences for understanding the effect of water vapour on both the present-day climate, in climate change, and in remote sensing of the atmosphere here.

**The Special Issue of the Royal Society's meeting "Water in the Gas Phase" (13-14 June 2011) which includes many continuum-related papers (including several from CAVIAR) can be found here: [Special Issue of Phil. Trans. Roy. Soc. A](#)**

## FTS измерения континуума в RAL и в ИОА СО РАН (2007-н.в.)

Широкомасштабные измерения континуального поглощения водяного пара в ближнем ИК и видимом диапазоне, в лабораторных и полевых условиях.

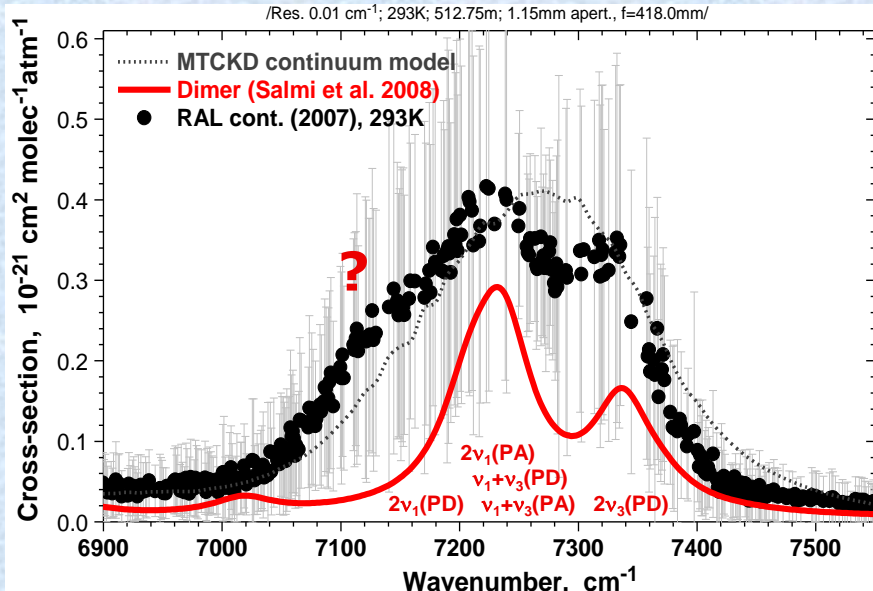
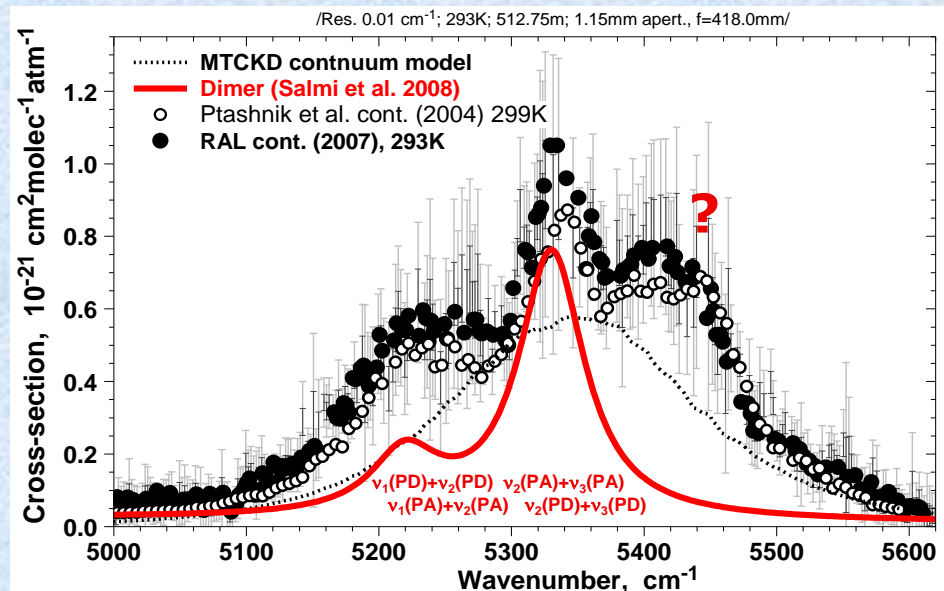
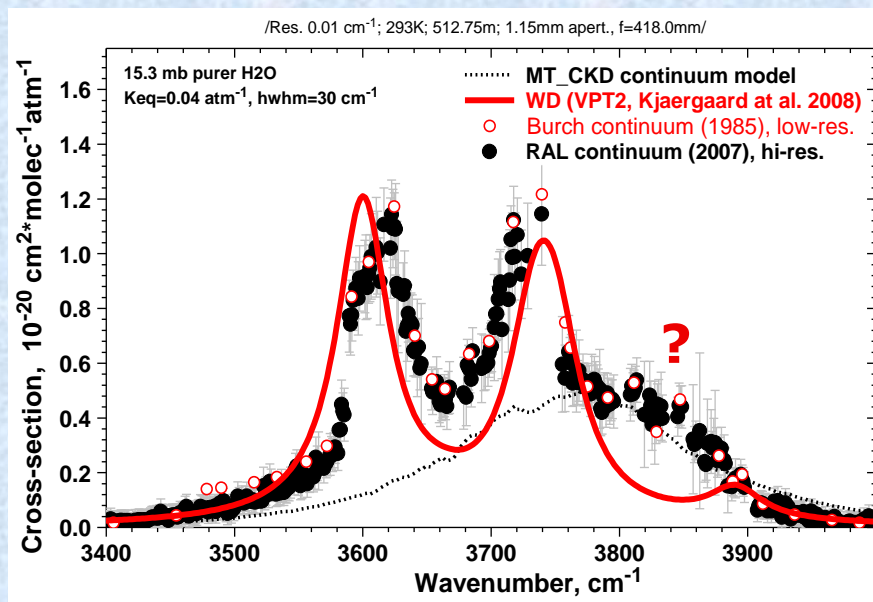
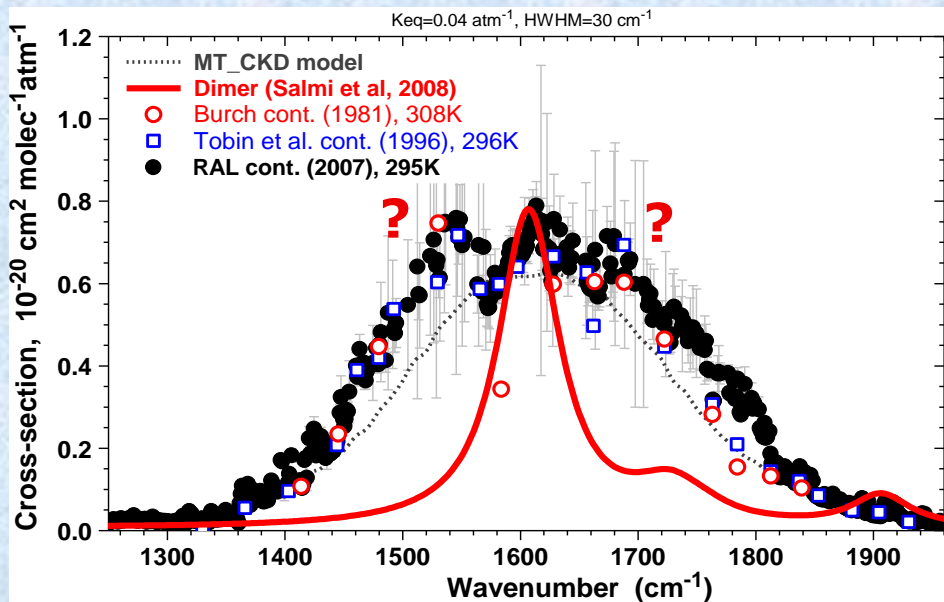
Позднее измерения инициированы во Франции и в России (ИОА СО РАН, ИПФ РАН).



**CAVIAR (2007-2011, UK), РФФИ (2013-2014), РФФ (2016-2018)**

**0.8 м, 6 м и 30 м** многоходовые “ячейки”: до **1100 м** оптическая длина пути, давление водяного пара до **5 atm**, температуры **0-200 °C**; спектрометр **Bruker IFS 125HR**

# Континуум водяного пара и димеры (1.3 – 6 мкм)



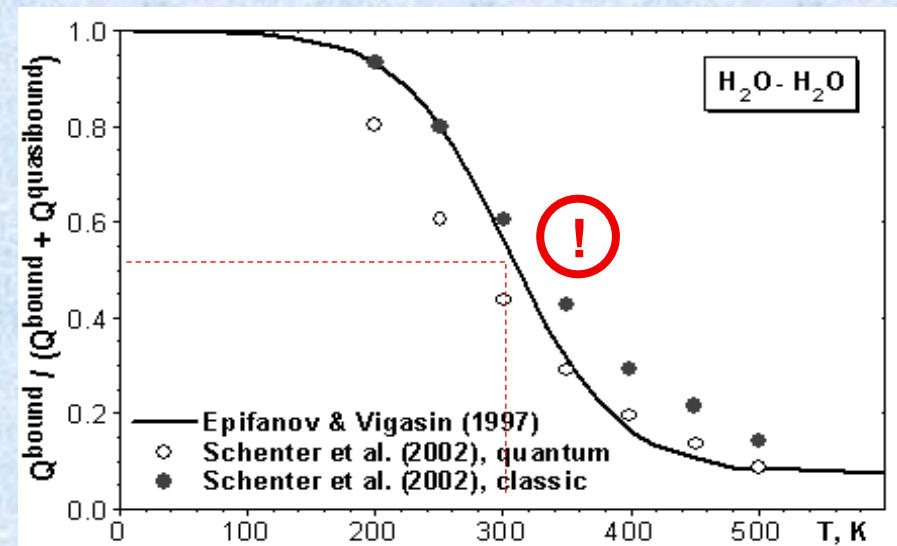
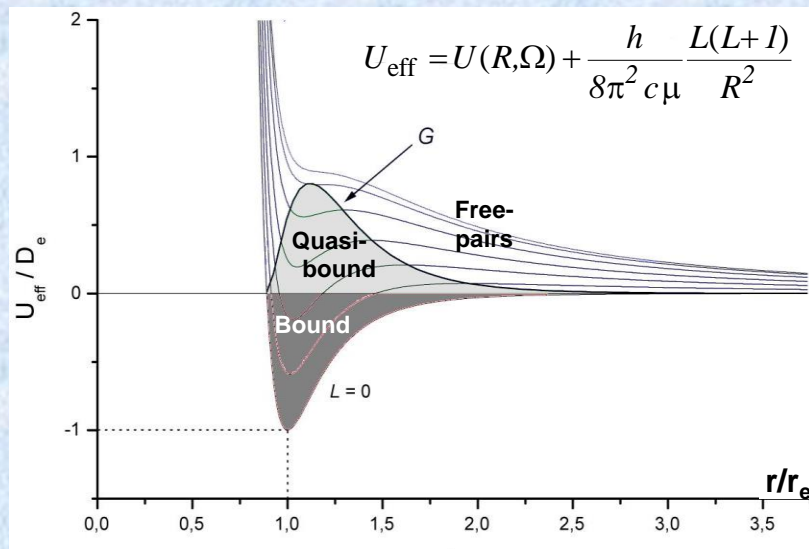
Доминирующий вклад димеров воды в континуум водяного пара в полосах поглощения.

# Бимолекулярное поглощение. Статистическое разделение молекулярных пар в фазовом пространстве

Storgyn & Hirschfelder (1959), Hill (1956) → A. Vigasin (1991-2003) (polyatomic molecules)

Бимолекулярное поглощение (БП) можно формально разделить на три части: **связанные** (стабильные) димеры; **квазисвязанные** (метастабильные) димеры и **свободные пары** (“single approach” collisions).

A. Vigasin (Kluwer, 2003):



**H<sub>2</sub>O-H<sub>2</sub>O** (Vigasin, *Infr.Phys*, 1991; Kluwer, 2003; Epifanov & Vigasin, 1997):

- Роль **свободных пар** практически незначительна при комнатных температурах по сравнению со **связанными** and **квазисвязанными** состояниями.
- **Доля связанных и квазисвязанных** димеров должна быть **сравнима при комнатных температурах** (Epifanov & Vigasin, 1996; Schenter et al., 2003)

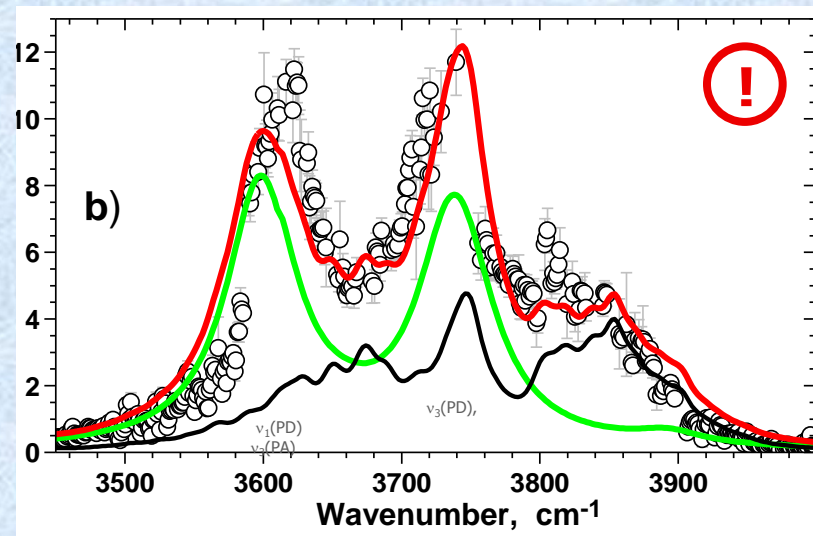
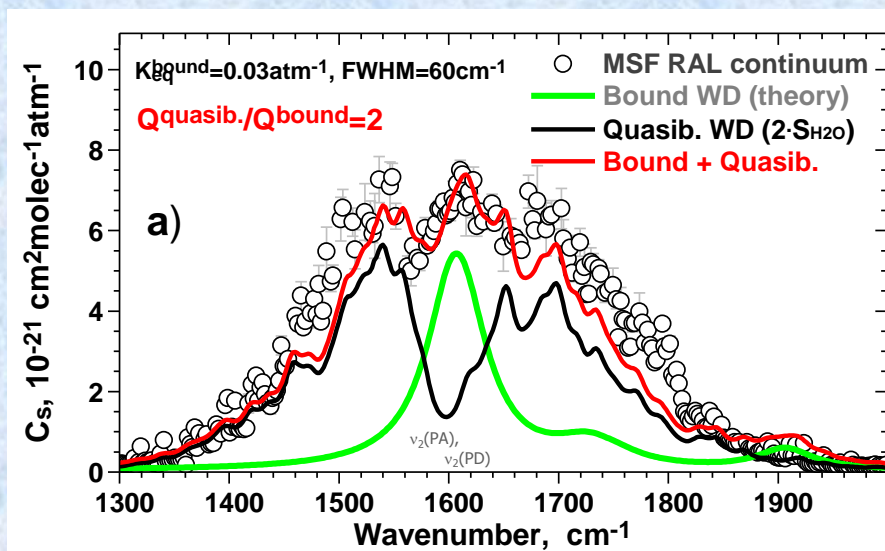


# Модель димеров для континуума в полосах поглощения

$$C_s(\nu) = \left( K_{\text{eq}}^{\text{bound}}(T) \times S^{\text{bound}} + K_{\text{eq}}^{\text{quasib.}}(T) \times S^{\text{quasib.}} \right) \times f_{\text{Voigt}}(\nu - \nu_0, \gamma)$$

fitting ↓
fitting ↓
 $2 \cdot S_{\text{monomer}}$  ↓
 $\gamma_{\text{HWHM}} = 10 \text{ \& } 30 \text{ cm}^{-1}$  ↓

- $C_s(\nu)$  – экспериментальное сечение поглощения континуума [ $\text{cm}^2 \text{молек}^{-1} \text{атм}^{-1}$ ]
- $K_{\text{eq}}^{\text{bound, quasib.}}$  – константа димеризации **связанных** и **квазисвязанных димеров** [ $\text{атм}^{-1}$ ]
- $S^{\text{bound}}$  – интенсивности полос связанных [ $\text{см/молек}$ ] (*Kjaergaard et al., J.Phys.Chem. 2008*)
- $S^{\text{quasib.}}$  – интенсивности полос квазисвязанных димеров ( $\approx 2 \times S_{\text{monomer}}$  из HITRAN-2012)
- $f_{\text{Voigt}}$  – контур Фойгта

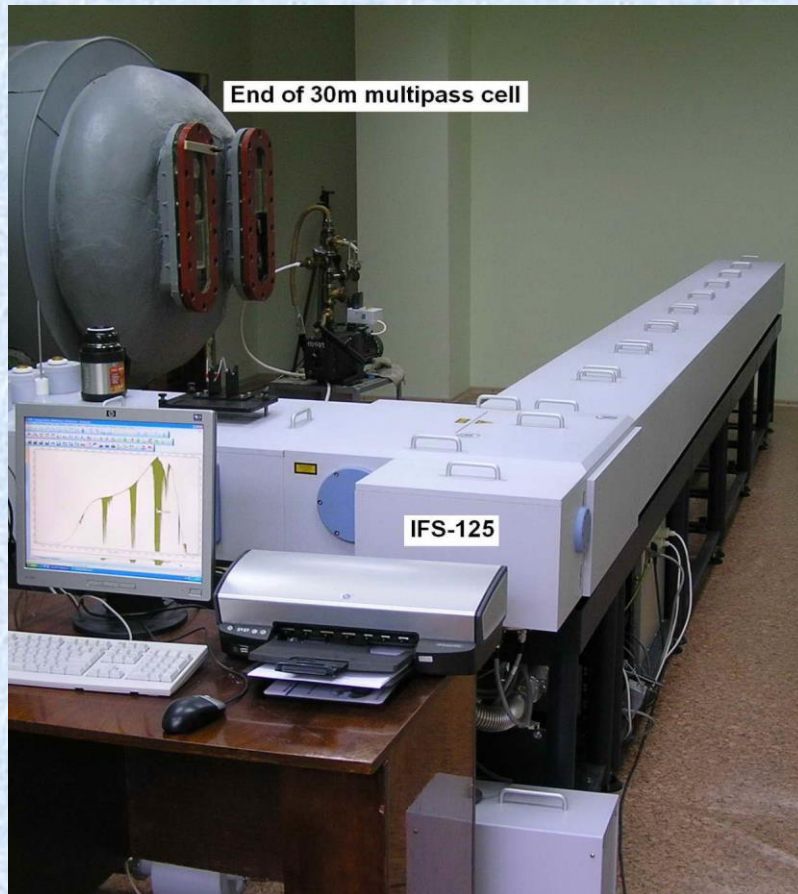


*Ptashnik, Shine, Vigasin*, Water vapour self-continuum and water dimers.

1. Analysis of recent work // JQSRT (2011)

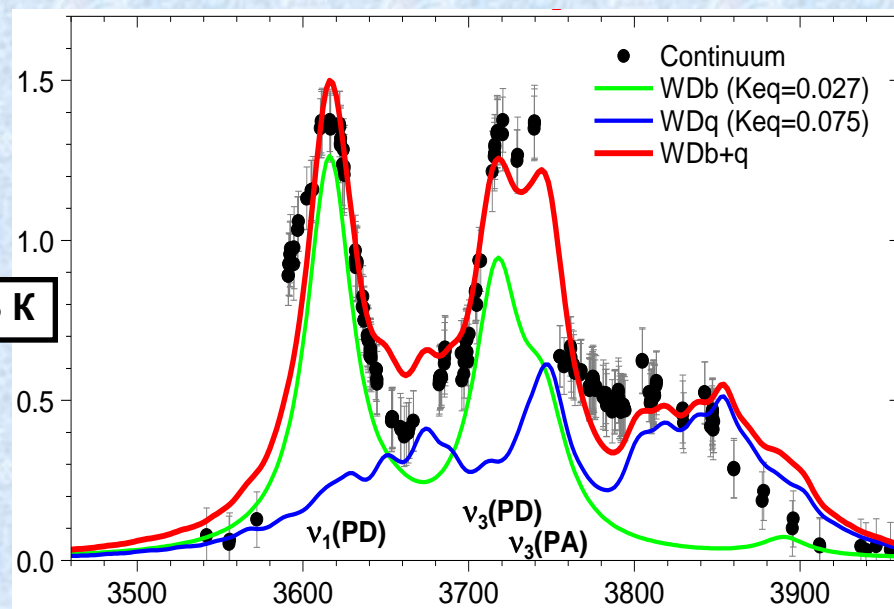
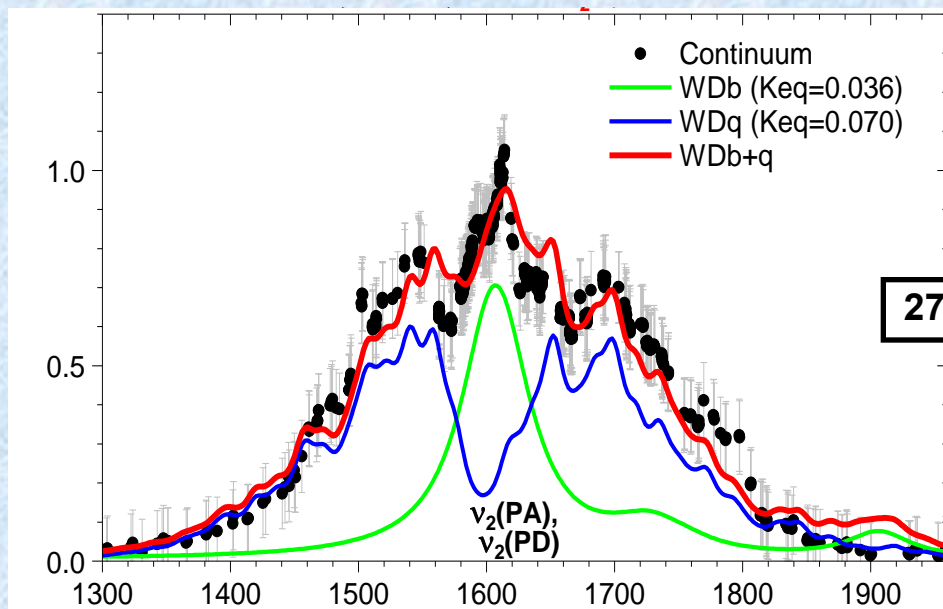
# Измерения при пониженных температурах (2016-2017)

Ptashnik, Klimeshina, Petrova, Solodov (Jr.), Solodov, *J. Atmos. Ocean. Opt.* (2016)



- Спектрометр: Bruker IFS 125HR, диапазон  $1000 - 5000 \text{ cm}^{-1}$ ,  $0.01 \text{ cm}^{-1}$
- Многоходовая кювета:  $20-40 \text{ m}$ ,  $T = -9 \text{ to } 15 \text{ }^\circ\text{C}$  (термостат Termeks Crio BT-01)  
2 термометра LT-300, MKS Baratron
- Приёмник: MTC, охлаждение жидким азотом

# Вклад связанных и квазисвязанных димеров в континуум в полосах поглощения 1600 и 3600 см<sup>-1</sup> (2017-2018)

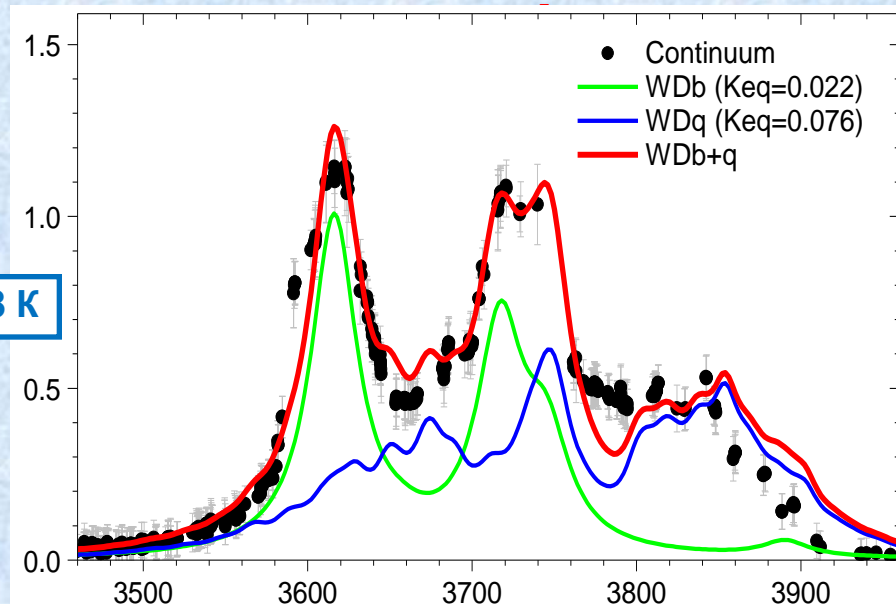
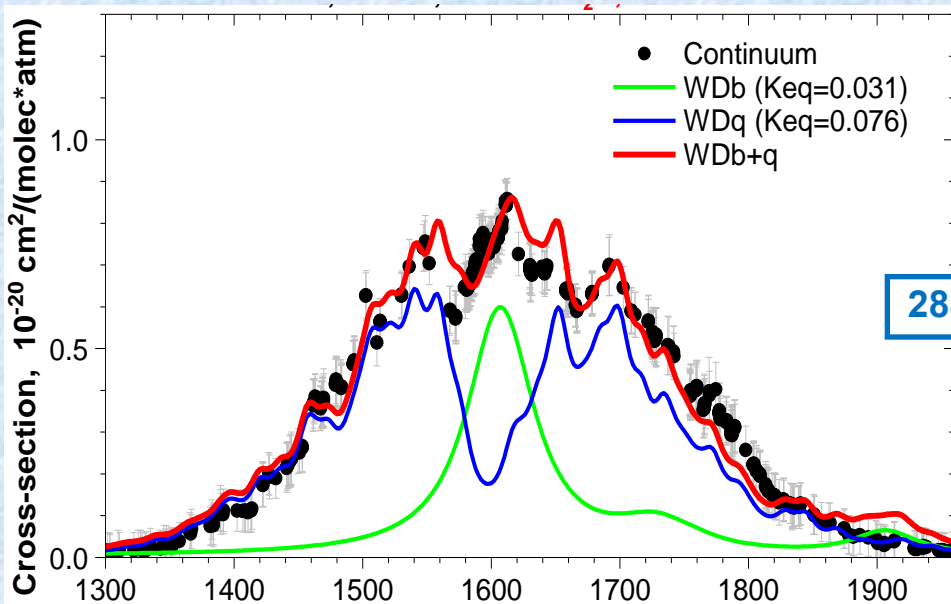


$$C_s(\nu) = \left( K_{eq}^{bound}(T) \times S^{bound} + K_{eq}^{quasib.}(T) \times S^{quasib.} \right) \times f_{Voigt}(\nu - \nu_o, \gamma)$$

fitting                      fitting                      2 · S<sub>monomer</sub>                      γ<sub>HWHM</sub> = 10 & 30 cm<sup>-1</sup>  
↓                                      ↓                                      ↓                                      ↓

Ptashnik, Klimeshina, Solodov (Jr), Vigasin, *JQSRT* (2019)

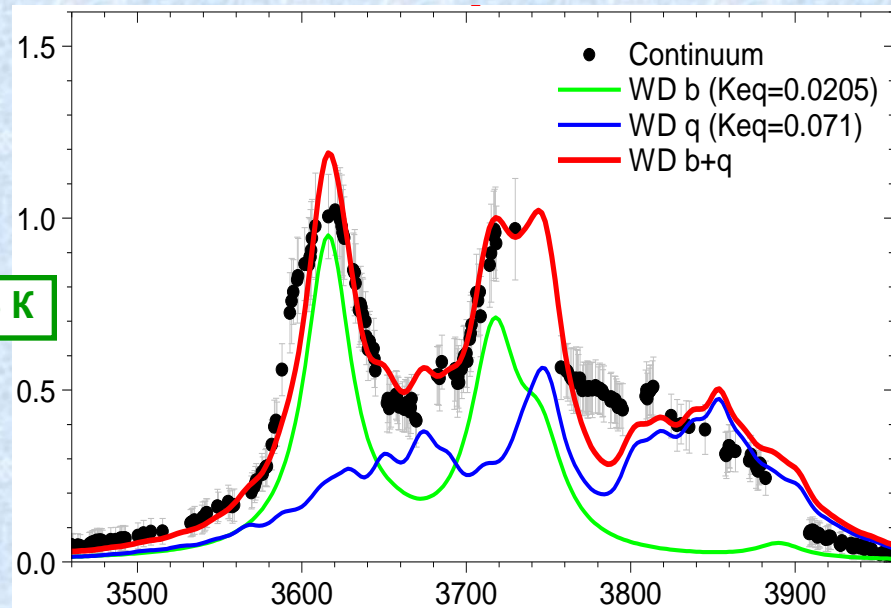
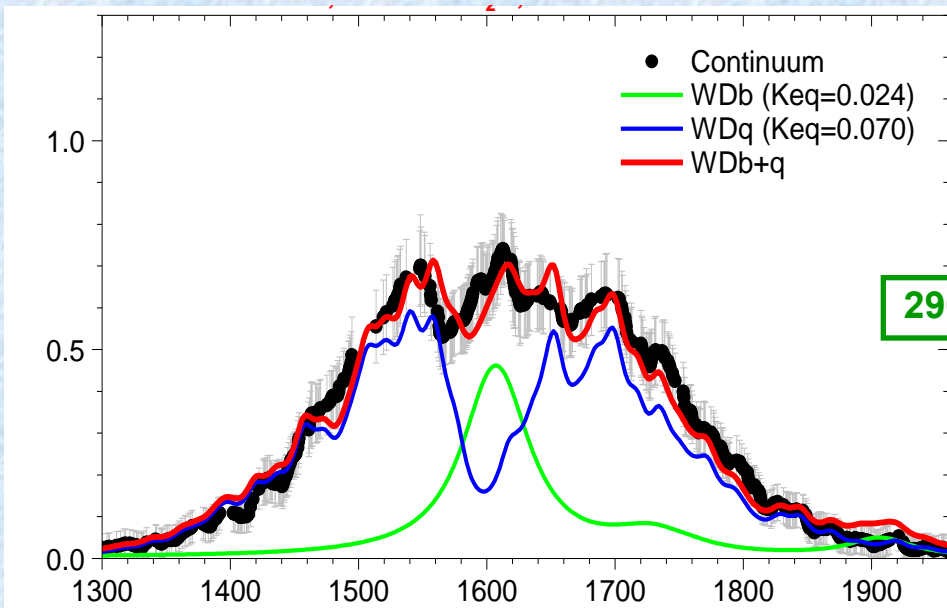
# Вклад связанных и квазисвязанных димеров в континуум в полосах поглощения 1600 и 3600 см<sup>-1</sup> (2017-2018)



$$C_s(\nu) = \left( \overset{\text{fitting}}{\downarrow} K_{eq}^{\text{bound}}(T) \times S^{\text{bound}} + \overset{\text{fitting}}{\downarrow} K_{eq}^{\text{quasib.}}(T) \times S^{\text{quasib.}} \right) \times \overset{2 \cdot S_{\text{monomer}}}{\downarrow} \overset{\gamma_{\text{HWHM}} = 10 \ \& \ 30 \ \text{cm}^{-1}}{\downarrow} f_{\text{Voigt}}(\nu - \nu_0, \gamma)$$

Ptashnik, Klimeshina, Solodov (Jr), Vigasin, *JQSRT* (2019)

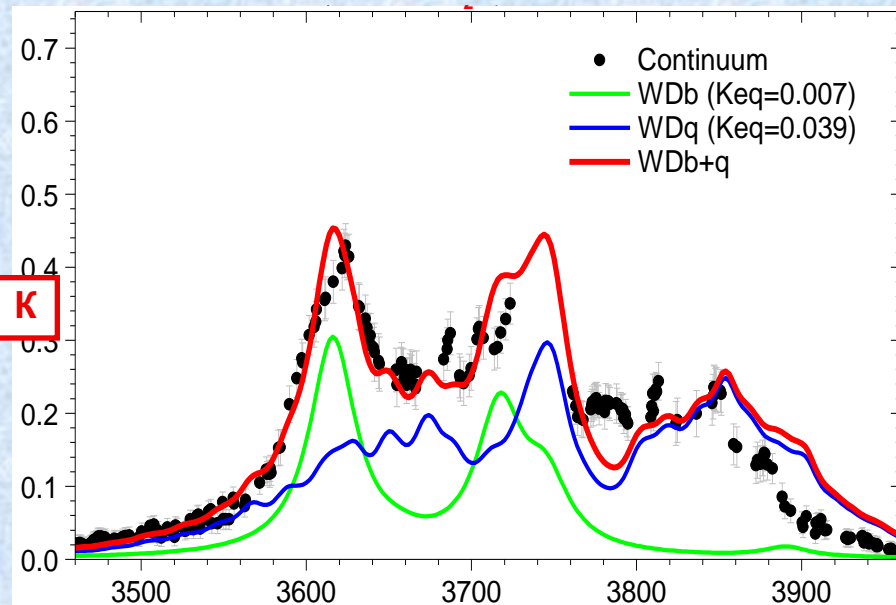
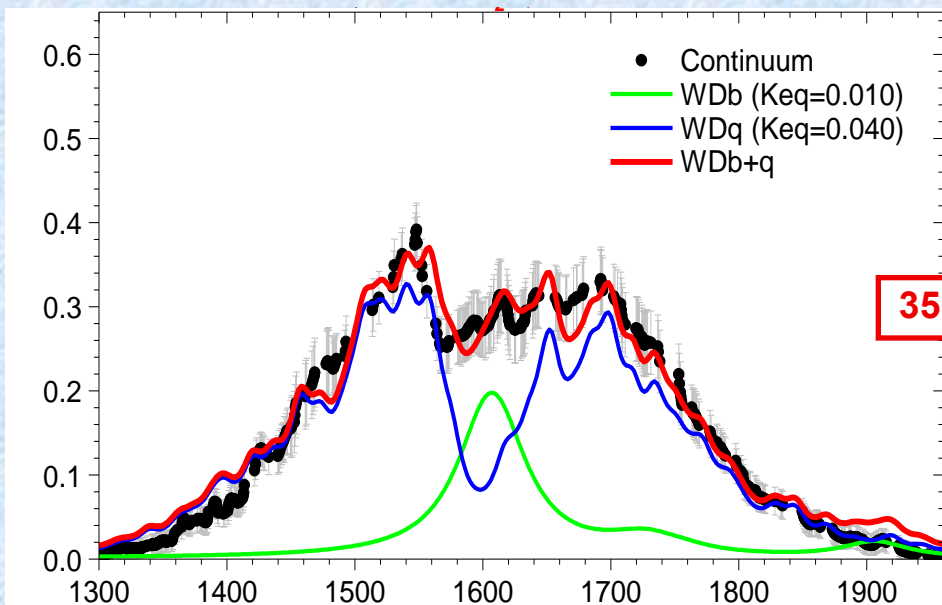
# Вклад связанных и квазисвязанных димеров в континуум в полосах поглощения 1600 и 3600 см<sup>-1</sup> (2017-2018)



$$C_s(\nu) = \left( \overset{\text{fitting}}{\downarrow} K_{\text{eq}}^{\text{bound}}(T) \times S^{\text{bound}} + \overset{\text{fitting}}{\downarrow} K_{\text{eq}}^{\text{quasib.}}(T) \times S^{\text{quasib.}} \right) \times \overset{2 \cdot S_{\text{monomer}}}{\downarrow} \overset{\gamma_{\text{HWHM}} = 10 \ \& \ 30 \ \text{cm}^{-1}}{\downarrow} f_{\text{Voigt}}(\nu - \nu_0, \gamma)$$

Ptashnik, Klimeshina, Solodov (Jr), Vigasin, *JQSRT* (2019)

# Вклад связанных и квазисвязанных димеров в континуум в полосах поглощения 1600 и 3600 см<sup>-1</sup> (2017-2018)



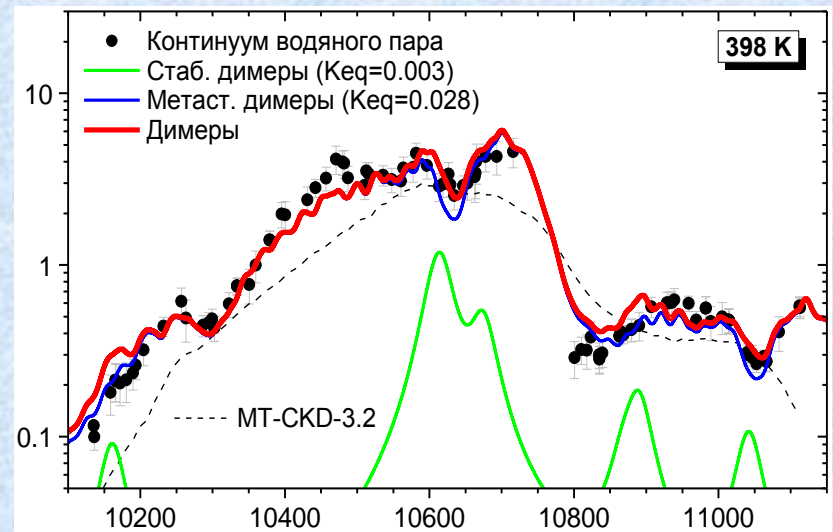
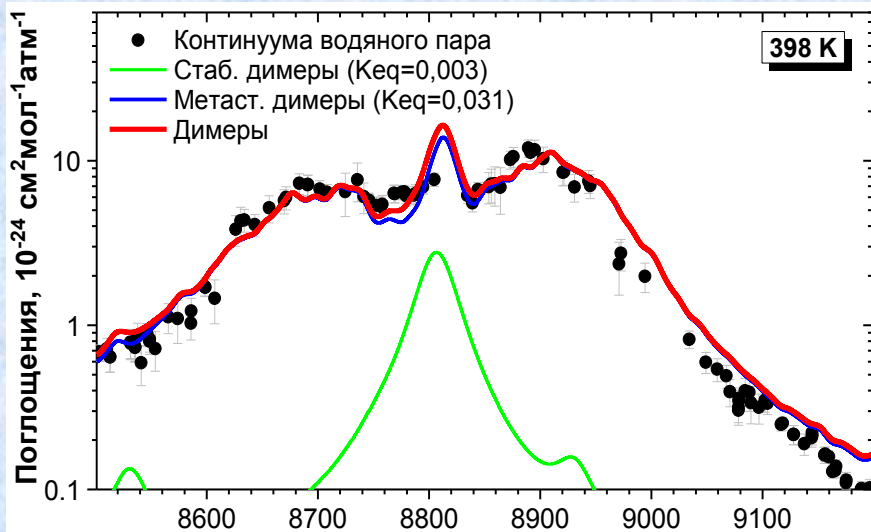
351 K

$$C_s(\nu) = \left( K_{eq}^{bound}(T) \times S^{bound} + K_{eq}^{quasib.}(T) \times S^{quasib.} \right) \times f_{Voigt}(\nu - \nu_o, \gamma)$$

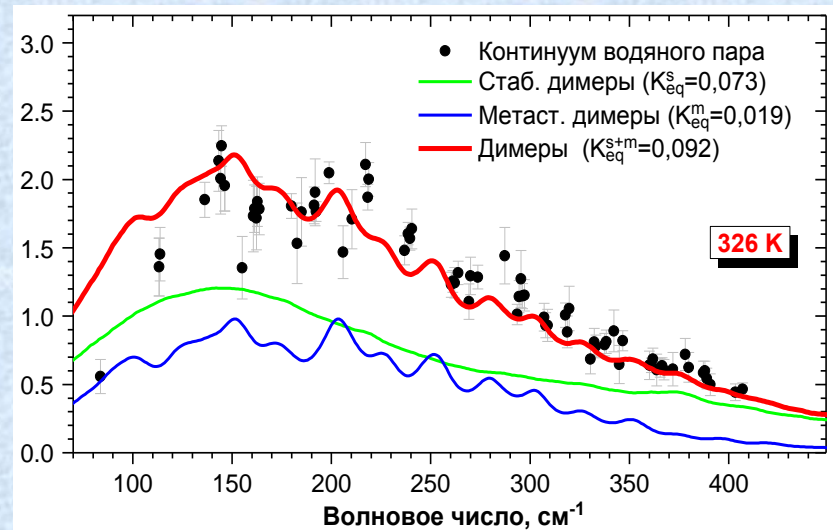
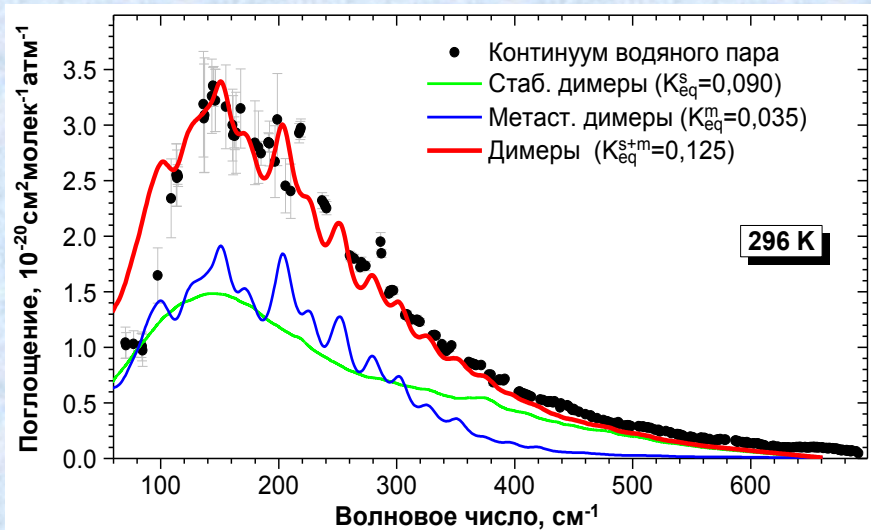
fitting ↓
fitting ↓
 $2 \cdot S_{monomer}$  ↓
 $\gamma_{HWHM} = 10 \text{ \& } 30 \text{ cm}^{-1}$  ↓

Ptashnik, Klimeshina, Solodov (Jr), Vigasin, *JQSRT* (2019)

# Вклад связанных и квазисвязанных димеров в полосах поглощения $150\text{ см}^{-1}$ и $8800$ и $10600\text{ см}^{-1}$ (2018-2020)



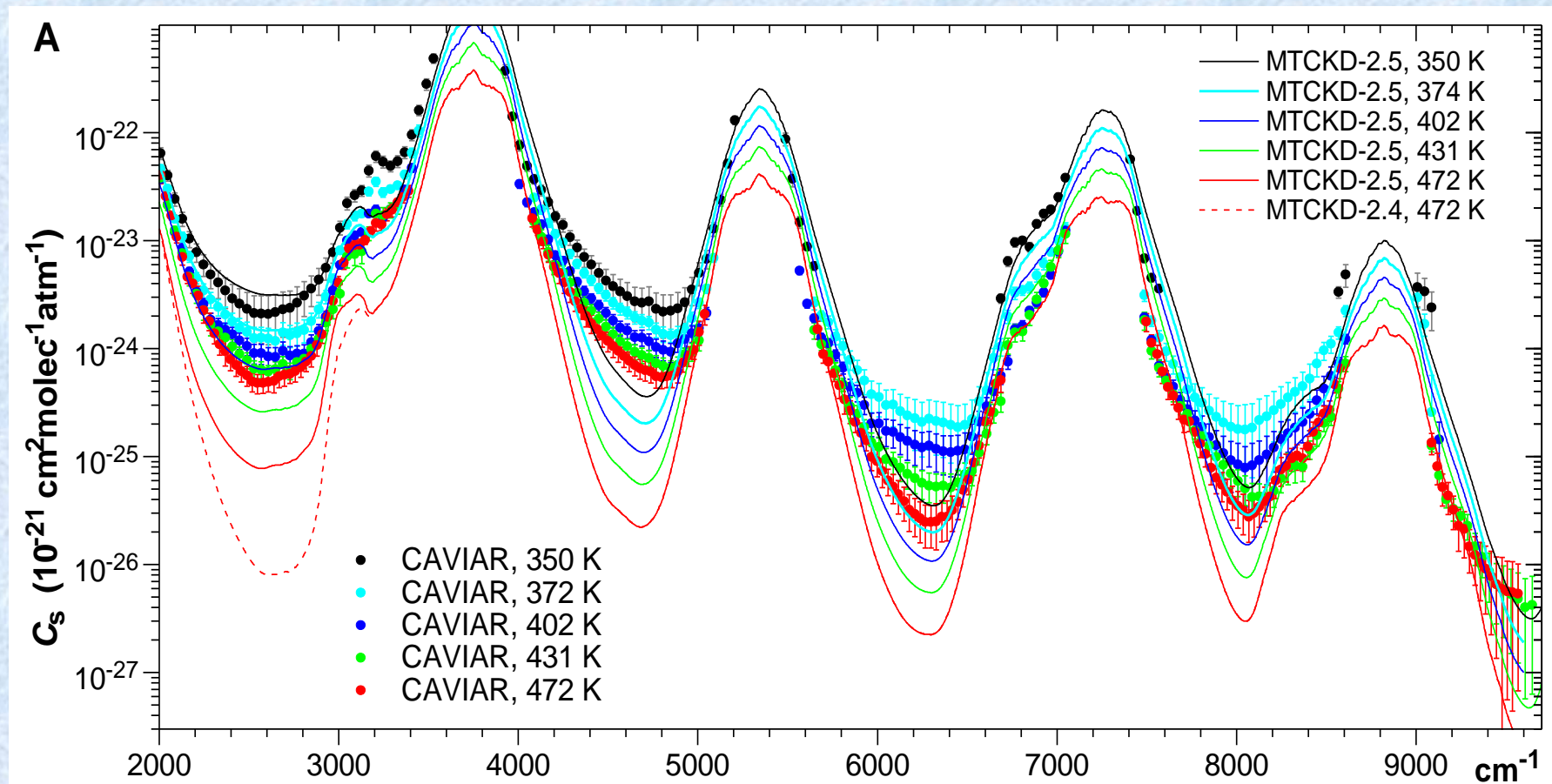
Simonova & Ptashnik, *Atmos. Ocean. Opt.* (2019)



Odintsova, Tretyakov, Simonova, Ptashnik et al., *J. Molec. Struct.* (2020)

# Континуум водяного пара в окнах прозрачности

Ptashnik, McPheat, Shine, Smith, Williams,  
*J. Geophys. Res.* (2011); *Phil. Trans. R.Met.Soc.* (2012)



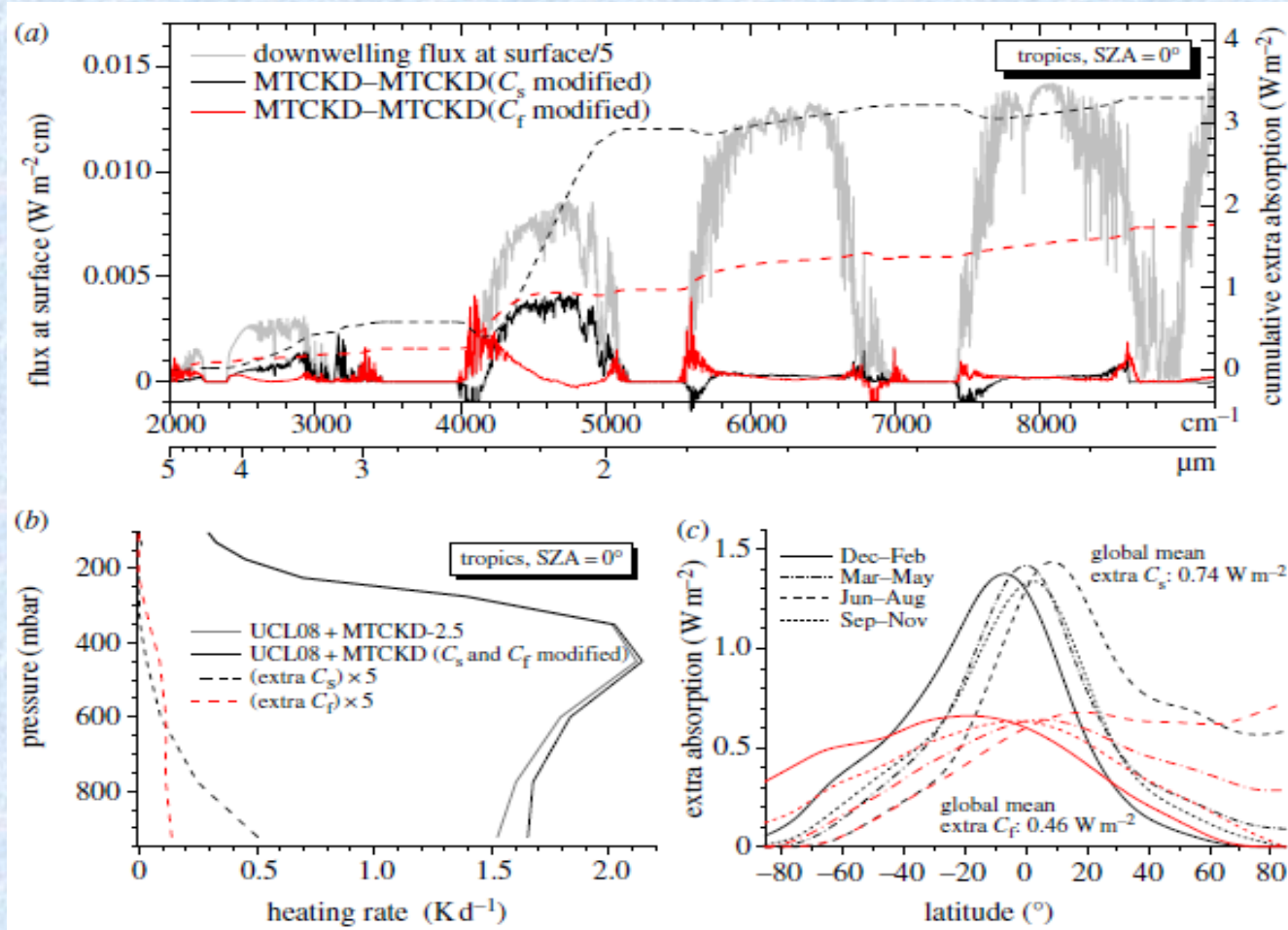
**Континуальное поглощение водяного пара** в окнах прозрачности атмосферы ближнего ИК диапазона при повышенных температурах **до порядка величины превышает предсказание модели MT\_CKD**, которая используется в современных климатических и радиационных моделях. (Результат вошел научные достижения РАН за 2011 г)





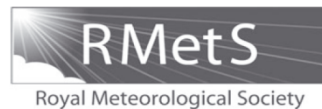
# Континуум водяного пара в окнах прозрачности: радиационный эффект

Ptashnik, McPheat, Shine, Smith, Williams, *J. Geophys. Res.* (2011); *Phil. Trans. R.Met.Soc.* (2012)



Среднее  
по глобусу:  
**1.2 Вт/м<sup>2</sup>!**

- (a)** Спектр нисходящего солнечного излучения на поверхности Земли и (пунктиром) экстра поглощение, обусловленное модификацией континуума водяного пара в окнах прозрачности.
- (b)** Скорость разогрева атмосферы вследствие континуума воды и его поправки.
- (c)** Широтная зависимость доп. поглощения вследствие поправки континуума воды.



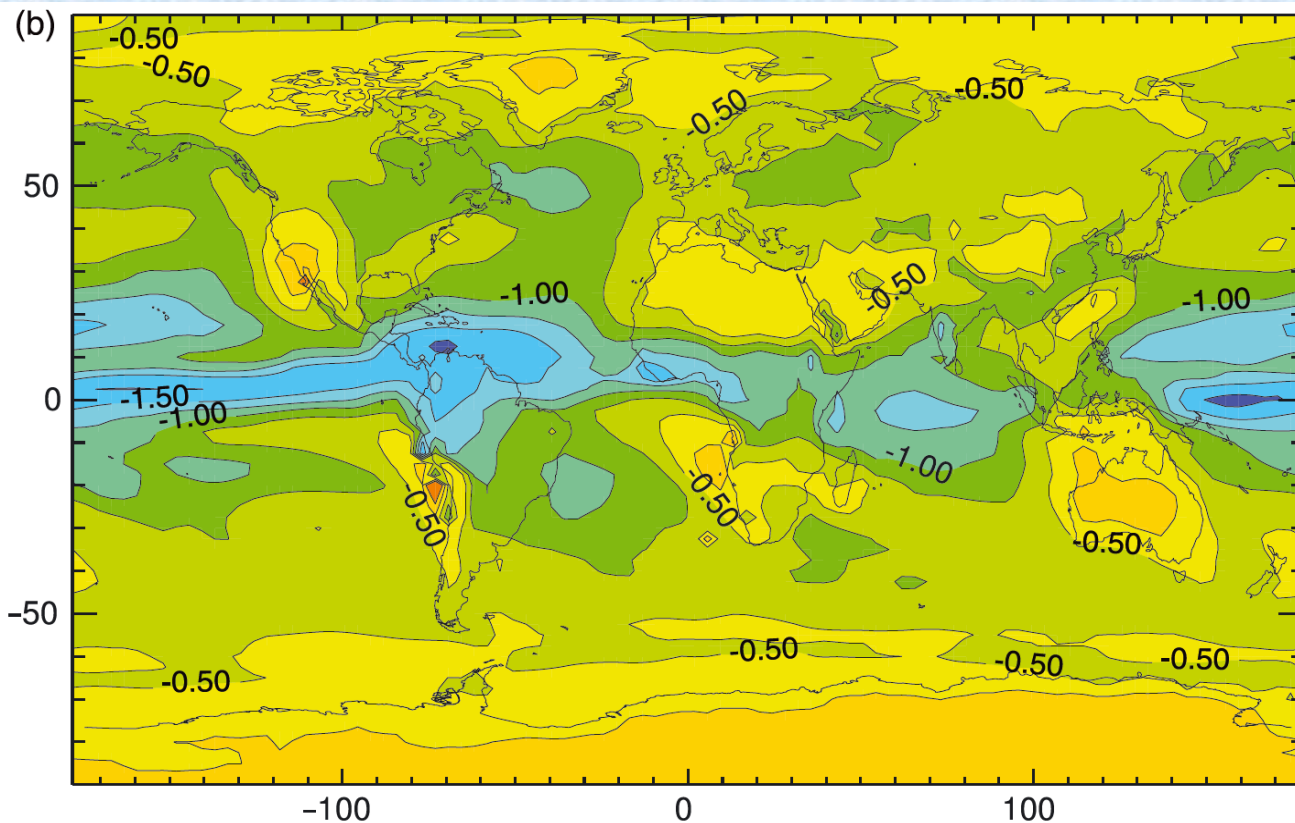
## Global radiative and climate effect of the water vapour continuum at visible and near-infrared wavelengths

Gaby Rädel,<sup>a,b</sup> Keith P. Shine<sup>a\*</sup> and Igor V. Ptashnik<sup>a,c</sup>

<sup>a</sup>Department of Meteorology, University of Reading, UK

<sup>b</sup>Max Planck Institute for Meteorology, Hamburg, Germany

<sup>c</sup>V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics, Tomsk, Russia



Ожидаемое  
среднегодовое  
изменение потока  
приземной солнечной  
радиации через 50 лет  
после удвоения CO<sub>2</sub>,  
согласно модели  
континуума **CAVIAR**.

## Основные публикации по теме за последние 14 лет (в Q1)

1. Ptashnik I, Evaluation of suitable spectral intervals for near-IR // **J. Quantit. Spectr. and Radiative Transfer**, v. 108 (2008) ИФ=2.9
2. Paynter D, Ptashnik I, Shine K, Smith K. Pure water vapor continuum measurements between 3100 and 4400 cm<sup>-1</sup>: Evidence for water dimer absorption in near atmospheric conditions // **Geophys. Res. Lett.** V. 34 (2008) ИФ=4.6.
3. Ptashnik I. Evidence for the contribution of water dimers .. // **J. Quantit. Spectr. and Radiative Transfer**, v. 109 (2009).
4. Paynter D, Ptashnik I, Shine K et al. Laboratory measurements of the water vapor continuum... // **J. Geophys. Res.** (2009) ИФ=3.42.
5. Ptashnik I, Smith K., Water vapour line intensities...// **J. Quantit. Spectr. and Radiative Transfer**, v. 111 (2010).
6. Ptashnik I., Shine K., McPheat R., Smith K., Williams R. // **J. Geophys. Res.**, v.116 (2011) ИФ=3.42.
7. Tallis L., Ptashnik I., Shine K., Coleman M., Gardiner T. // **J. Quantit. Spectr. and Radiative Transfer**, v.112(14) (2011).
8. Ptashnik I, Shine K, Vigin A. Water vapour self-continuum and water dimers... // **J. Quantit. Spectr. and Radiat. Transfer** (2011).
9. Shine K, Ptashnik I, Rädcl G. The water vapour continuum: History and recent developments // **Survey in Geophys.** (2012) ИФ=3.5.
10. Newman S., Taylor J., Ptashnik I., et al. The Joint Airborne IASI Validation Experiment... // **JQSRT**, v.113 (2012) ИФ=2.9.
11. Newman S., Green P., Ptashnik I., et al. Airborne and satellite remote sensing of the mid-infrared water vapour continuum... // **Philosophical Transactions (Series A)**, v.370 (2012) ИФ=3.1.
12. Gardiner T., Coleman M., Browning H., Tallis L., Ptashnik I., Shine K. Absolute high spectral resolution measurements of surface solar radiation for detection of water vapour continuum absorption // **Philosophical Transactions**, v.370 (2012).
13. Ptashnik I., Shine K., McPheat R., Smith K., Gary Williams R. Water vapour foreign-continuum absorption in near-infrared windows from laboratory measurements // **Philosophical Transactions (Series A)**. v. 370 (2012) ИФ=3.1.
14. Menang K., Ptashnik I., Shine K et al. A high-resolution near-infrared extraterrestrial solar spectrum derived from ground-based Fourier transform spectrometer measurements // **J. Geophys. Res**, v.118(11) (2013) ИФ=3.42.
15. Ptashnik I., Petrova T., Ponomarev Y., Solodov A.A., Solodov A.M., Shine K.P. Near-infrared water vapour self-continuum at close to room temperature // **J. Quantit. Spectr. and Radiative Transfer**, v.120. p 23-35 (2013) ИФ=2.9.
16. Пташник И. Континуальное поглощение водяного пара – краткая предыстория // **Оптика атмос. и океана** (2015).
17. Ptashnik I, Klimeshina T, Petrova T, Solodov A.A., Solodov A.M. Water vapour continuum absorption at decreased temperatures within 2.7 and 6.25 mcr bands // **Atmospheric and Oceanic Optics**, v. 28 (2015) ИФ=1.51.
18. Rädcl G, Shine K, Ptashnik I. Global radiative and climate effect of the water vapour continuum at visible and near-infrared wavelengths // **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.141 (2015) ИФ=3.25.
19. Ptashnik I, McPheat R, Polyansky O, Shine K, Smith K // **J. Quant. Spectr. and Radiative Transfer**, v.177 (2016) ИФ=2.9.
20. Shine K, Campargue A, Mondelain D, Ptashnik I. et al. The water vapour continuum in near-infrared windows – Current understanding and prospects for its inclusion in spectroscopic databases // **J. Molecular Spectr.** v.327 (2016) ИФ=2.22.
21. Ptashnik I, Klimeshina T, Solodov A, Vigin A. Spectral composition of the water vapour self-continuum absorption within 2.7 and 6.25 μm band // **J. Quant. Spectr. and Radiative Transfer**, V. 228 (2019) ИФ=2.9.
22. Zhuravleva T, Nasrtdinov I, Chesnokova T, Ptashnik I. Monte-Carlo simulation of thermal radiative transfer in spatially inhomogeneous clouds taking into account the atmospheric sphericity // **J. Quant. Spectr. and Radiative Transfer**, V. 236 (2019) ИФ=2.9
23. Odintsova T, Tretyakov M., Simonova A., Ptashnik I., Piralı O., Campargue A. Measurement and temperature dependence of the water vapor self-continuum between 70 and 700 cm<sup>-1</sup> // **J. Molec. Structure.** V. 1210 (2021) ИФ= 3.2
24. Simonova A., Ptashnik I., Elsey J., McPheat R., Shine K., Smith K. Water vapour self-continuum in near-visible IR absorption bands: Measurements and semiempirical model of water dimer absorption // **J. Quant. Spectr. and Radiat. Transfer**, V. 277 (2022) ИФ=2.

# Заключение

- С 2003 г. инициирована серия широкомасштабных международных исследований континуального поглощения излучения водяным паром в атмосфере.
- На основе экспериментальных и численных исследований впервые показано, что природа континуального поглощения в полосах водяного пара в значительной степени обусловлена димерами воды.
- Экспериментально показано, что континуальное поглощение водяным паром в окнах прозрачности атмосферы при повышенных температурах может в несколько раз превышать значения, предсказываемые моделью MT\_CKD (*включёно в научные достижения РАН за 2011 г*).
- Сделаны численные оценки радиационного вклада «обновленного» континуума в атмосфере Земли.
- Создана малопараметрическая полуэмпирическая модель континуального поглощения водяного пара в полосах поглощения.

## При активном участии/обсуждении:

Keith P. Shine (University of Reading, UK)

Андрей А. Вигасин (ИФА РАН, Москва)

Михаил Ю. Третьяков (ИПФ РАН, Нижний Новгород)

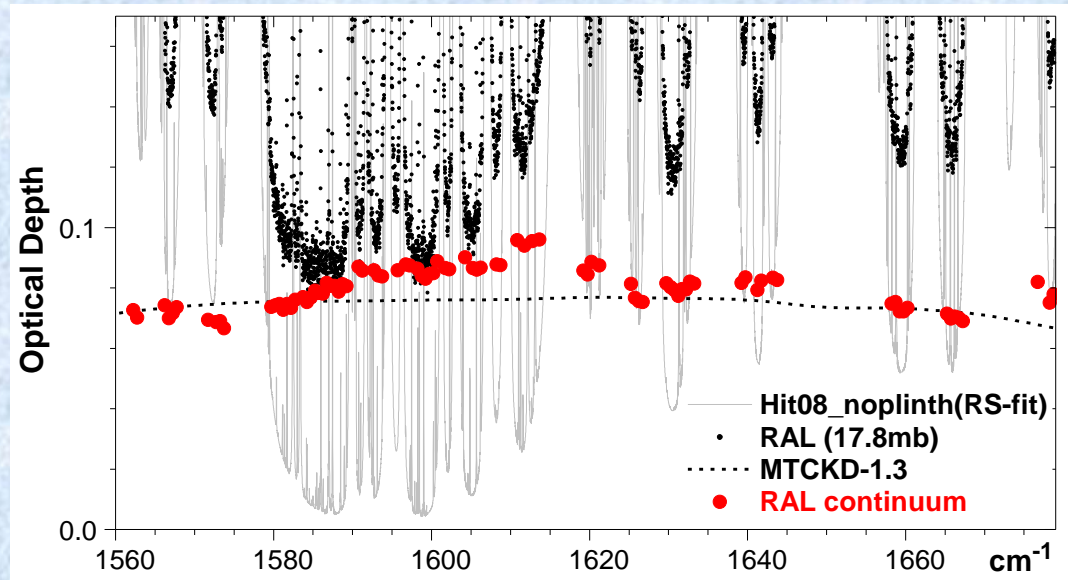
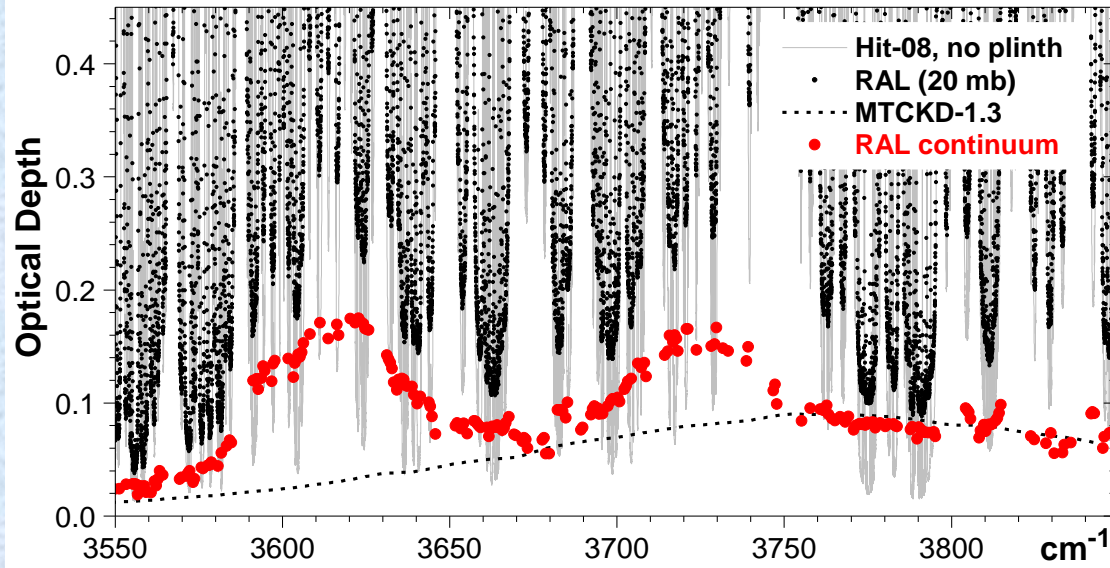
Kevin Smith & Robert Mc Pheat (Rutherford Appleton Lab., UK)

Солодов А.М. и Солодов А.А. (ИОА СО РАН, Томск)

**Спасибо за внимание!**

# Восстановление континуального поглощения $\text{H}_2\text{O}$ из спектров высокого разрешения

Boxcar apodiz.; 2mm, 418mm, res=0.03cm<sup>-1</sup>





## Стратегические направления научной деятельности

Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования по следующим направлениям.

### Проблемы оптики и физики атмосферы, включая:

- спектроскопия атмосферных газов;
- дистанционное зондирование атмосферы;
- распространение оптического излучения в атмосфере;
- процессы, определяющих оптическое состояние атмосферы;
- оптико-электронные системы и технологии исследования окружающей среды.

### Физические процессы в атмосфере и на поверхности Земли, механизмы формирования и изменения климата, в том числе:

- оптически значимые составляющие атмосферы;
- процессы, определяющие радиационный режим и климат Земли.

**Состав: 530 человек; 217 научных сотр.; 43 д.ф.-м.н.; 126 к.ф.-м.н.**