

# Систематизация опубликованной научной графики, представляющей характеристики непрерывного поглощения водяного пара. III. Публикации 2001–2020 гг.

Н.А. Лаврентьев, О.Б. Родимова, А.З. Фазлиев \*

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН  
634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1*

Поступила в редакцию 30.03.2023 г.;  
после доработки 25.04.2023 г.;  
принята к печати 15.05.2023 г.

Описаны графические ресурсы по непрерывному поглощению водяного пара и его смесей, опубликованные в 2011–2020 гг. Представлены сводные таблицы, характеризующие основные параметры коэффициентов поглощения и функций пропускания в разных спектральных интервалах, температурную зависимость коэффициента поглощения и константу равновесия реакции образования димера воды. Отмечены особенности исследования непрерывного поглощения в опубликованных за эти годы работах.

В сжатой форме представлены результаты оценки качества цитируемых графиков, которые описаны четырьмя качественными и количественными атрибутами. Охарактеризованы три процедуры цитирования, две из которых компьютеризированы. Представлен метод оценки различия цитирующего и цитируемого графика и примеры пар «цитирующий и цитируемый графики» с количественной оценкой различия.

*Ключевые слова:* информационная система GrafOnto, графики по непрерывному поглощению воды, цитирующие и цитируемые графики, количественная оценка различия графиков; GrafOnto information system, water continuum absorption plot, cited and citing plots, quantification of the difference between plots.

## Введение

Работа посвящена систематизации научных графиков по непрерывному поглощению водяным паром в работах за 2001–2020 гг. [1–68] в информационной системе (ИС) GrafOnto (plots.saga.iao.ru). Работа является третьей в серии наших статей, посвященных этой теме. В статьях [69, 70] рассмотрены научные графики, опубликованные в 1898–1980 и 1981–2000 гг. Настоящая статья состоит из двух частей: первая связана с описанием физических особенностей графических ресурсов для водяного пара и смесей, а вторая сфокусирована на проблеме цитирования графиков в этих публикациях. Прimitивные графики, характеризующие водяной пар и его смеси с Ar, N<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub>, составляют 42% от общего числа таких графиков (2606 графиков), а число цитирующих графиков, относящихся к водяному пару, составляет 61% (901) от их общего числа (1480).

В [69, 70] для анализа были выбраны 110 публикаций, рисунки в которых отражали результаты наиболее характерных измерений и расчетов непрерывного поглощения. В данной статье рассматриваются графики из 68 публикаций. Как и ранее, они относятся в основном к спектральным и температурным зависимостям коэффициентов поглощения не только в окнах прозрачности, но и в пределах полос поглощения. В 2001–2020 гг. возросло число статей, посвященных исследованию микроволнового и дальнего ИК-диапазонов. Появление достаточно подробных расчетных работ позволило более детально анализировать вклады в непрерывное поглощение, обусловленные разными механизмами. Стоит отметить, что если в ранних работах трудности в оцифровке были обусловлены техническим уровнем оригинальных графиков, то в последних исследованиях камнем преткновения является обилие экспериментальных и расчетных точек, накладывающихся друг на друга.

Как и в [69, 70], количественные данные о рассмотренных графиках сведены в таблицы, кратко затронуты новые, по сравнению с предыдущими периодами, физические вопросы, активно обсуждаемые в последнее время, и описаны информационные аспекты системы GrafOnto.

\* Николай Александрович Лаврентьев (lnick@iao.ru); Ольга Борисовна Родимова (rod@iao.ru); Александр Зарипович Фазлиев (faz@iao.ru).

Среди информационных аспектов особое внимание уделено качеству цитирования графических ресурсов. Как правило, цитирующий и цитируемый (см. определение в разд. 2) графики находятся в разных работах, которые оцифровываются независимо друг от друга, что может приводить к различию этих графиков, например в силу разного качества печати. В нашей статье описан подход к количественному анализу различия пары «цитирующий и цитируемый графики». Кратко описаны проблемы, возникающие при автоматизации поиска цитируемого графика, приведены примеры оценок различия между цитирующими и цитируемыми графиками, представлена статистика цитирующих графиков, относящихся к молекуле воды и ее смесям.

Поскольку большинство случаев цитирования графиков до сих пор ограничено ссылкой на публикацию и имеет большую степень произвола [71], то поиск цитируемого графика ранее проводился администратором системы путем перебора графиков в цитируемой публикации. Автоматизация поиска цитируемого графика требовала критериев поиска такого графика в базе данных системы GrafOnto. В качестве такого критерия было принято условие минимального различия между цитирующим графиком и подходящими графиками в цитируемой публикации. В описанной ниже процедуре цитирования применяется количественный метод оценки качества цитирования, используя который, приложение системы рекомендует администратору цитируемый график с минимальным процентом отличия от цитирующего графика. Отметим, что в настоящее время в системе оцениваются только примитивные цитирующие графики.

Цель работы – систематизация опубликованной научной графики, представляющей характеристики континуального поглощения водяного пара.

## 1. Описание информационных ресурсов по континуальному поглощению

В 2001–2020 гг. интенсивно развиваются экспериментальные исследования континуума водяного пара в разных спектральных диапазонах, что во многом связано с совершенствованием техники эксперимента. Обширные исследования ближнего и дальнего ИК-диапазонов Фурье-спектрометрами были проведены в рамках программы CAVIAR (см., например, [9, 24, 31]), в NIST [18, 27–29] и ИОА СО РАН [40, 44]. На основе результатов этих измерений авторами были сделаны выводы о значительной доле поглощения димерами водяного пара в континуальном поглощении в пределах полос поглощения (см., например, [72, 30, 22]). Много работ было посвящено исследованию микроволнового диапазона (см., например, [3, 29]). Особо стоит упомянуть обнаружение линий вращательного спектра

димера воды [46] с помощью специального резонансного спектрометра [73]. Техника CRDS-измерений использовалась в исследовании континуума водяного пара в публикациях [2, 12]. В последние годы она широко применяется в изучении поглощения водяным паром в дальнем ИК-диапазоне [39, 43, 49, 55, 62, 66, 68].

Приведенные ниже табл. 1–6 содержат информацию о графиках, взятых из работ [1–68]. Каждая строка в таблице относится к отдельному рисунку в публикации. Этот рисунок может содержать как оригинальные, так и цитирующие примитивные графики.

Два направления в теоретическом описании континуального поглощения (поглощение далекими крыльями сильных спектральных линий и поглощение димерами воды) сохранились с периода до 2001 г. и эволюционировали, позволяя разделить наблюдаемое континуальное поглощение на части, обусловленные разными физическими механизмами. Работы по квазистатической теории крыльев линий [4, 5, 7, 20] в какой-то мере были завершены обзорными статьями [19, 26], вывод которых, хотя и не окончательный, заключался в преобладающей роли крыльев разрешенных линий как в области между полосами, так и внутри полос в области  $0\text{--}1150\text{ см}^{-1}$ . В то же время появилось значительное количество работ начиная с [74], в которых, согласно представлениям [75], рассматривалось поглощение связанными и метастабильными димерами, а также «свободными» сталкивающимися парами молекул воды. В связи с этим стало возможно оценить константу равновесия реакции образования димера исходя из измерений континуума (см. табл. 6). Свое слово о вкладе поглощения промежуточными частями между близкими и далекими крыльями линий сказали и исследователи поглощения в микроволновом диапазоне [61]. В рамках асимптотической теории крыльев линий [76] опубликован ряд работ [34, 37, 38, 48, 51, 54] по спектральным и температурным зависимостям континуального поглощения водяным паром. Согласно этой теории рассчитанное поглощение соответствует поглощению всеми парами сталкивающихся молекул, кроме случаев, приводящих к образованию стабильных димеров. Таким образом, по разности расчета и эксперимента может быть обнаружено поглощение стабильными димерами [77, 78]. Оценки отличия контура линии от лоренцевского также продолжали появляться (например, табл. 7).

Таким образом, налицо существенное продвижение в выяснении природы континуума как в экспериментальном, так и в теоретическом плане. Однако неожиданно обнаружилось различие результатов измерений континуума Фурье-спектрометрами ([30] и ссылки в ней) и методами спектроскопии внутрирезонаторного затухания (CRDS)

Таблица 1

## Функции пропускания в различных спектральных диапазонах

Год	Автор	Область спектра, мкм	Область спектра	Буферный газ	Температура, К	Единицы оси $x$	Единицы оси $y$	Ссылка
<b>10–55 см<sup>-1</sup></b>								
<i>Эксперимент, расчет</i>								
2005	Podobedov et al.	181,8–1000	10–55 см <sup>-1</sup>	H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>		см <sup>-1</sup>	поглощаемость (основание 10)	[13]
<b>10000–14300 см<sup>-1</sup></b>								
<i>Эксперимент, расчет</i>								
2004	Sierk et al.		880–1000 нм	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>		нм	пропускание	[11]
2004	Sierk et al.		680–760 нм	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub> , O <sub>2</sub>		нм	пропускание	[11]
2004	Sierk et al.		680–760 нм	H <sub>2</sub> O, O <sub>4</sub>		нм	пропускание	[11]
2004	Sierk et al.		600–670 нм	H <sub>2</sub> O, O <sub>2</sub> , O <sub>4</sub>		нм	пропускание	[11]
2004	Sierk et al.		610–645 нм	O <sub>4</sub>		нм	пропускание	[11]
2004	Sierk et al.		890–990 нм	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>		нм	оптическая глубина	[11]
2004	Sierk et al.		710–755 нм	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>		нм	оптическая глубина	[11]
<b>5000–14000 см<sup>-1</sup></b>								
<i>Эксперимент, расчет</i>								
2004	Ptashnik et al.	0,69–6,25	5000–5600 см <sup>-1</sup>	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	299; 342	см <sup>-1</sup>	оптическая глубина	[9]
2004	Ptashnik et al.	0,69–6,25	5000–5600 см <sup>-1</sup>	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	299; 342	см <sup>-1</sup>	оптическая глубина	[9]
2008	Ptashnik	0,69–6,25 2,5–2,94	5000–5600 см <sup>-1</sup> 3400–4000 см <sup>-1</sup>	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	530; 503	см <sup>-1</sup>	оптическая глубина	[22]
2012	Ptashnik et al.	1,1–5	2000–9000 см <sup>-1</sup>	H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>		мкм, см <sup>-1</sup>	оптическая глубина	[36]
2016	Simonova, Ptashnik	1,08–1,18 0,88–0,99	8500–9300 см <sup>-1</sup> 10100–11300 см <sup>-1</sup>	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	400	см <sup>-1</sup>	оптическая глубина	[58]
<i>Расчет</i>								
2004	Ptashnik et al.	0,69–6,25	1600–14400 см <sup>-1</sup>	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	293	см <sup>-1</sup>	оптическая глубина	[9]

## Коэффициент поглощения в микроволновом диапазоне

Год	Автор	Область спектра, мкм	Область спектра	Буферный газ	Парциальное давление H <sub>2</sub> O	Полное давление	Температура, К	Единицы оси x	Единицы оси y	Ссылка
2014	Tretyakov et al.		190–260 ГГц	H <sub>2</sub> O		34,2; 27,2; 12,1; 3,7 торр	48,8; 38,25; 6,7 °С	ГГц	см <sup>-1</sup>	[45]
<i>Эксперимент</i>										
<i>Эксперимент, расчет</i>										
2002	Kuhn et al.		140–400 ГГц	H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>				ГГц	дБ/км	[3]
2002	Kuhn et al.		140–400 ГГц	H <sub>2</sub> O				ГГц	дБ/км	[3]
2002	Ma, Tipping		20–500 ГГц	H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>			296	ГГц	дБ/км · кПа <sup>2</sup>	[5]
2002	Ma, Tipping		20–500 ГГц	H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>			330	ГГц	дБ/км · кПа <sup>2</sup>	[5]
2002	Ma, Tipping		20–500 ГГц	H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>			270	ГГц	дБ/км · кПа <sup>2</sup>	[5]
2003	Ma, Tipping		20–500 ГГц	H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>			296	ГГц	дБ/км · кПа <sup>2</sup>	[7]
2003	Ma, Tipping		20–500 ГГц	H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>			330	ГГц	дБ/км · кПа <sup>2</sup>	[7]
2003	Ma, Tipping		20–500 ГГц	H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>			270	ГГц	дБ/км · кПа <sup>2</sup>	[7]
2007	Scribano, Leforesrier	200–∞	0–50 см <sup>-1</sup>	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>		2,13 кПа	297	ГГц	дБ/км	[17]
2008	Podobedov et al.	111–1000	10–90 см <sup>-1</sup>	H <sub>2</sub> O		2,13 кПа	293; 313; 333	ГГц	дБ/км	[20]
2008	Podobedov et al.	111–1000	10–90 см <sup>-1</sup>	H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>		2,13 кПа	293; 323; 333	ГГц	дБ/км	[20]
2011	Koshelev et al.		60–150 ГГц	H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>	19,7; 19,0; 8,7; 2,6 ГПа	993 ГПа	299; 311; 286; 271	ГГц	дБ/км	[29]
2011	Ptashnik et al.	333–5000 9,1–100	2–30 см <sup>-1</sup> 100–1100 см <sup>-1</sup>	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>				ГГц	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[30]
2013	Slocum et al.		0–2000 ГГц	H <sub>2</sub> O, air	15,23 торр	760 торр		ГГц	М <sup>-1</sup>	[41]
2013	Tretyakov et al.		20–150 ГГц	H <sub>2</sub> O				ГГц	см <sup>-1</sup>	[42]
2013	Tretyakov et al.		20–150 ГГц	H <sub>2</sub> O				ГГц	см <sup>-1</sup>	[42]
2014	Tretyakov et al.	333–5000	2–30 см <sup>-1</sup>	(H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>			296	ГГц	дБ/км	[45]
2014	Serov et al.		180–260 ГГц	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>		12 торр	296	ГГц	см <sup>-1</sup>	[46]
2014	Serov et al.		170–260 ГГц	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>		13 торр	296	ГГц	см <sup>-1</sup>	[46]
2014	Serov et al.		190–260 ГГц	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>		27,2 торр	311,1	ГГц	см <sup>-1</sup>	[46]
2014	Serov et al.		180–260 ГГц	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>		12,1 торр	297,8	ГГц	см <sup>-1</sup>	[46]
2014	Serov et al.		180–260 ГГц	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>		12,1 торр	298,3	ГГц	см <sup>-1</sup>	[46]
2015	Tretyakov et al.	20–∞	0–500 см <sup>-1</sup>	H <sub>2</sub> O			300	ГГц	см <sup>-1</sup> /торр <sup>2</sup>	[52]
2015	Tretyakov et al.	1000–∞	0–10 см <sup>-1</sup>	H <sub>2</sub> O			300; 330	ГГц	см <sup>-1</sup> /торр <sup>2</sup>	[52]
2015	Tretyakov et al.	20–∞	0–500 см <sup>-1</sup>	H <sub>2</sub> O				ГГц	см <sup>-1</sup> /торр <sup>2</sup>	[52]
2015	Tretyakov et al.	1111–∞	0–9 см <sup>-1</sup>	H <sub>2</sub> O			300	ГГц	см <sup>-1</sup> /торр <sup>2</sup>	[52]
2016	Bogdanova, Rodimova		190–260 ГГц	H <sub>2</sub> O				ГГц	см <sup>-1</sup>	[54]
2016	Bogdanova, Rodimova		190–260 ГГц	H <sub>2</sub> O				ГГц	см <sup>-1</sup>	[54]
2017	Odintsova et al.	200–∞	0–50 см <sup>-1</sup>	H <sub>2</sub> O				ГГц	дБ/км	[59]
2017	Odintsova et al.	50–200	50–200 см <sup>-1</sup>	H <sub>2</sub> O				ГГц	дБ/км · мбар <sup>2</sup>	[59]
2017	Serov et al.	50–250 1111–1667	40–200 см <sup>-1</sup> 6–9 см <sup>-1</sup>	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>				ГГц	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[61]
2019	Odintsova et al.	167–∞	0–60 см <sup>-1</sup>	H <sub>2</sub> O				ГГц	см <sup>4</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[63]

Коэффициент поглощения в области 100–1200 см<sup>-1</sup>

Год	Автор	Область спектра, мкм	Область спектра, см <sup>-1</sup>	Буферный газ	Температура, К	Единицы оси x	Единицы оси y	Ссылка
<i>Эксперимент</i>								
2008	Baranov et al.	8,74–12,22	818–1144,5	H <sub>2</sub> O	310,8; 318; 325,8; 339,3; 351,9; 363,6	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[18]
<i>Эксперимент, расчет</i>								
2002	Cormier et al.	10–11	900–1000	H <sub>2</sub> O		см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[2]
2002	Ma, Tipping	9,09–33,3	300–1100	H <sub>2</sub> O	296	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[4]
2002	Ma, Tipping	8,06–16,67	600–1240	H <sub>2</sub> O	220–330	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[4]
2003	Бузыкин, Иванов	5,56–16,67	600–1800	H <sub>2</sub> O	296	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[6]
2003	Tonkov, Filippov	9,17–12,2	820–1090	H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>		см <sup>-1</sup>	км <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[8]
2004	Nesmelova et al.	9,7–14,28	700–1030	H <sub>2</sub> O	284	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[10]
2008	Baranov et al.	8,7–12,5	800–1150	H <sub>2</sub> O	310,8; 325,8; 363,6	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[18]
2008	Ma et al.	9,09–33,3	300–1100	H <sub>2</sub> O	296	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[19]
2008	Ma et al.	8,7–12,5	800–1150	H <sub>2</sub> O	310,8; 325,8; 363,6	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[19]
2008	Serio et al.	16,67–41,67	240–600	H <sub>2</sub> O		см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[23]
2010	Leforestier et al.	8,7–∞	0–1150	H <sub>2</sub> O	240; 270; 300; 330	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[26]
2011	Ptashnik et al.	8,7–12,5	800–1150	H <sub>2</sub> O	363; 326; 311	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[30]
2012	Baranov, Lafferty	8–12,5	800–1250	H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>	296; 298	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[33]
2014	Shine et al.	8,1–71,4	140–1240	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>		см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[47]
2015	Klimeshina, Rodimova	10–28	350–1000	H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>	296; 430	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[48]
2015	Klimeshina, Rodimova	8,1–12,5	800–1230	H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>	296	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[48]
2015	Ptashnik	333–∞	0–30	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	293–300	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[50]
2015	Ptashnik	7,69–333	30–1300	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	293–300	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[50]
2015	Ptashnik	8,7–12,8	780–1150	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	293–300	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[50]
2016	Baranov	7,52–9,26	1080–1330	H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub>		см <sup>-1</sup>	см <sup>-1</sup> · амага <sup>-2</sup>	[53]
2016	Bogdanova, Rodimova	9,09–33,3	300–1100	H <sub>2</sub> O	296	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[54]
2017	Odintsova et al.	12,5–∞	0–800	H <sub>2</sub> O		см <sup>-1</sup>	дБ/км	[59]
2017	Odintsova et al.	25–∞	0–400	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>		см <sup>-1</sup>	дБ/км	[59]
2019	Odintsova et al.	12,5–∞	0–800	H <sub>2</sub> O		см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[63]
2019	Odintsova et al.	20–200	50–500	H <sub>2</sub> O		см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[63]
2019	Odintsova et al.	20–200	50–500	H <sub>2</sub> O		см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[63]
2019	Tran et al.	6,25–200	50–1600	H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub>		см <sup>-1</sup>	см <sup>-1</sup> · амага <sup>-2</sup>	[65]
<i>Расчет</i>								
2008	Lee et al.	10–∞	0–1000	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	80; 220	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup>	[21]
2008	Lee et al.	9,09–33,3	300–1100	H <sub>2</sub> O	311; 326; 363	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[21]

Коэффициент поглощения в области 1200–10000 см<sup>-1</sup>

Год	Автор	Область спектра, мкм	Область спектра, см <sup>-1</sup>	Буферный газ	Температура, К	Единицы оси x	Единицы оси y	Ссылка
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2013	Ptashnik et al.		1314–7448	H <sub>2</sub> O	289	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[40]
2013	Ptashnik et al.		1314–7448	H <sub>2</sub> O	318	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[40]
<i>Эксперимент, расчёт</i>								
2004	Nesmelova et al.	3,5–4,17	2400–2850	H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>	296; 338; 384; 428	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[10]
2005	Vigasin et al.	2,44–3,12	3200–4100	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	673	см <sup>-1</sup>	нормированное поглощение	[14]
2006	Bicknell et al.	1,622–1,636	6112–6165	H <sub>2</sub> O		мкм	км <sup>-1</sup>	[15]
2006	Bicknell et al.	2,165–2,18	4587–4619	H <sub>2</sub> O		мкм	км <sup>-1</sup>	[15]
2008	Ptashnik	2,35–3,28	3050–4250	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	296	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[22]
2009	Paynter et al.	5–8,33	1200–2000	H <sub>2</sub> O	295	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[24]
2009	Paynter et al.	2,5–2,94	3400–4000	H <sub>2</sub> O	293	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[24]
2009	Paynter et al.	1,78–1,98	5040–5600	H <sub>2</sub> O	299	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[24]
2009	Paynter et al.	1,33–1,45	6900–7500	H <sub>2</sub> O	299	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[24]
2009	Rowe, Walden	6,67–7,4 6,06–6,33 5–5,4	1350–1500 1580–1650 1850–2000	air		см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup>	[25]
2011	Baranov	3,125–5	2000–3200	H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>		см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[27]
2011	Baranov, Lafferty	2,86–5,26	1900–3500	H <sub>2</sub> O		см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[28]
2011	Ptashnik et al.	5,26–7,14 2,53–2,86	1400–1900 3500–3950	H <sub>2</sub> O	295	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[30]
2011	Ptashnik et al.	1,43–10	1000–7000	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	296	мкм, см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[30]
2011	Ptashnik et al.	1,04–10	1000–9600	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	293	мкм, см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[31]
2011	Ptashnik et al.	2–5	2000–5000	H <sub>2</sub> O		мкм, см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[31]
2012	Baranov et al.	3,3–5	2000–3000	H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>		см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[32]
2012	Baranov, Lafferty	2,7–14,3	700–3700	H <sub>2</sub> O	310, 8; 325, 8; 351, 9	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[33]
2012	Baranov, Lafferty	2,7–14,3	700–3700	H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>	296; 326	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[33]
2012	Klimeshina et al.	3,7–4,2	2400–2700	H <sub>2</sub> O	296; 328; 338; 384; 428	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[34]
2012	Mlawer et al.	5–∞	0–2000	H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>		см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[35]
2012	Ptashnik et al.	2,94–5	2000–3400	H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>	402; 339; 296	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[36]
2013	Klimeshina, Rodimova	1,67–∞	0–6000	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	296	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[37]

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2013	Klimeshina, Rodimova	3,7–4,2	2400–2700	H <sub>2</sub> O	296; 328; 338; 384; 428	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[38]
2013	Klimeshina, Rodimova	3,7–4,2	2000–3500	H <sub>2</sub> O	293; 350; 472	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[38]
2013	Klimeshina, Rodimova	3,7–4,2	2000–3500	H <sub>2</sub> O	310,9; 325,5; 363,3	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[38]
2013	Mondelain et al.	1,52–1,72	5800–6600	H <sub>2</sub> O		см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[39]
2014	Mondelain et al.	1,49–1,71	5850–6700	H <sub>2</sub> O	302; 310; 320; 328; 340	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[43]
2014	Mondelain et al.	1,38–1,9	5250–7250	H <sub>2</sub> O		см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[43]
2014	Mondelain et al.	1,49–1,71	5850–6700	H <sub>2</sub> O		см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[43]
2014	Mondelain et al.	1,49–1,71	5850–6700	H <sub>2</sub> O	302; 340	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[43]
2014	Ptashnik et al.	1,25–10	1000–8000	H <sub>2</sub> O	287	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[44]
2014	Shine et al.	1,1–6,25	1600–9000	H <sub>2</sub> O H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>	296–400	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[47]
2015	Klimeshina, Rodimova	3,1–5	2000–3250	H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>	402	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[48]
2015	Klimeshina, Rodimova	3,1–5	2000–3250	H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>	326	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[48]
2015	Klimeshina, Rodimova	1,67–12,5	800–6000	H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>	296	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[48]
2015	Mondelain et al.	1,4–2,5	4000–7000	H <sub>2</sub> O	296	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[49]
2015	Mondelain et al.	2–2,5	4000–5000	H <sub>2</sub> O	296; 402	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[49]
2015	Ptashnik	2,4–3,28	3050–4150	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	296	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[50]
2015	Ptashnik	5,26–7,69	1300–1900	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	295	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[50]
2015	Ptashnik	2,5–2,94	3400–4000	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	296	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[50]
2015	Ptashnik	1,28–10	1000–7800	H <sub>2</sub> O	289,5–311	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[50]
2015	Rodimova	1,25–∞	0–8000	H <sub>2</sub> O	296	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[51]
2015	Rodimova	1,1–200	50–9000	H <sub>2</sub> O	296	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[51]
2015	Rodimova	1,25–2	5000–8000	H <sub>2</sub> O	296	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[51]
2015	Rodimova	5,26–7,14	1400–1900	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	296	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[51]
2015	Rodimova	2,56–2,86	3500–3900	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	296	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[51]
2015	Rodimova	1,82–1,92	5200–5500	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	296	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[51]
2016	Baranov	3,03–4	2500–3300	H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub>		см <sup>-1</sup>	см <sup>-1</sup> · амага <sup>-2</sup>	[53]
2016	Bogdanova, Rodimova	2,53–2,86	3500–3950	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	296	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[54]
2016	Campargue et al.	1–6,67	1500–10 <sup>4</sup>	H <sub>2</sub> O	287–311	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[55]
2016	Campargue et al.	3,12–5	2000–3200	H <sub>2</sub> O	287–293	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[55]
2016	Campargue et al.	1,96–2,38	4200–5100	H <sub>2</sub> O	287–293	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[55]
2016	Campargue et al.	1,18–1,33	7500–8500	H <sub>2</sub> O		см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[55]
2016	Campargue et al.	1–6,67	1500–10 <sup>4</sup>	H <sub>2</sub> O	287–311	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[55]

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2016	Reichert	1,28–4	2500–7800	H <sub>2</sub> O		см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup>	[56]
2016	Shine et al.	1,4–5	2000–7000	H <sub>2</sub> O	287–311	МКМ, см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[57]
2016	Shine et al.	1,4–5	2000–7000	H <sub>2</sub> O, air	298–431	МКМ, см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[57]
2016	Shine et al.	1,92–2,5	4000–5200	H <sub>2</sub> O	400	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[57]
2017	Richard et al.	3,12–5	2000–3200	H <sub>2</sub> O	287–311	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[60]
2017	Richard et al.	3,12–5	2000–3200	H <sub>2</sub> O	287–311	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[60]
2017	Richard et al.	1,96–2,5	4000–5100	H <sub>2</sub> O	287–293	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[60]
2017	Serov et al.	5–7,69 2,5–3,3	1300–2000 3000–4000	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>		см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[61]
2018	Lechevallier et al.	3,12–5	2000–3200	H <sub>2</sub> O	287–311	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[62]
2018	Lechevallier et al.	1,96–2,38	4200–5100	H <sub>2</sub> O		см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[62]
2018	Lechevallier et al.	1,11–6,67	1500–9000	H <sub>2</sub> O		см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[62]
2019	Ptashnik et al.	5–7,69 2,5–2,86	1300–2000 3500–4000	H <sub>2</sub> O	268,5–351	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[64]
2019	Ptashnik et al.	5–7,69 2,5–2,86	1300–2000 3500–4000	H <sub>2</sub> O	288,5	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[64]
2019	Ptashnik et al.	5,15–7,69 2,52–2,89	1300–1940 3460–3960	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>		см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[64]
2019	Vasilchenko et al.	1,49–1,72	5800–6700	H <sub>2</sub> O	272–351	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[66]
2019	Vasilchenko et al.	1,92–2,5	4000–5200	H <sub>2</sub> O	296	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[66]
2020	Birk et al.	2,56–2,94	3400–3900	H <sub>2</sub> O, air	297; 400	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[67]
2020	Birk et al.	2,56–2,94	3400–3900	H <sub>2</sub> O, air	296; 353	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[67]
2020	Birk et al.	2,5–2,94	3400–4000	H <sub>2</sub> O	296	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[67]
2020	Birk et al.	2,5–2,94	3400–4000	H <sub>2</sub> O	296–353	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[67]
2020	Birk et al.	2,5–2,94	3400–4000	H <sub>2</sub> O	296	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[67]
2020	Birk et al.	2,5–2,94	3400–4000	H <sub>2</sub> O	296	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[67]
2020	Mondelaun et al.	1,48–1,82	5500–6750	H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>	296; 400	см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[68]
<i>Расчет</i>								
2001	Vaida et al.	0,5–∞	0–20000	(H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>		см <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup>	[1]

Температурная зависимость коэффициента поглощения H<sub>2</sub>O

Год	Автор	$\omega$ , см <sup>-1</sup>	Буферный газ	Температура, К	Единицы оси x	Единицы оси y	Ссылка
2004	Nesmelova et al.	944, 19	H <sub>2</sub> O	240–340	К	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[10]
2004	Nesmelova et al.	1000	H <sub>2</sub> O	250–500	К	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[10]
2005	Cormier et al.	944	H <sub>2</sub> O	270–315	К	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[12]
2005	Cormier et al.	944	H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>	270–315	К	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[12]
2005	Cormier et al.	944	H <sub>2</sub> O	270–315	К	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[12]
2005	Cormier et al.	944	H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>	270–315	К	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[12]
2008	Baranov et al.	944, 19	H <sub>2</sub> O	270–390	К	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[18]
2008	Baranov et al.	1203	H <sub>2</sub> O	290–440	К	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[18]
2008	Ma et al.	944, 195	H <sub>2</sub> O	250–345	К	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[19]
2011	Baranov	2475	H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>	320–370	К	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[27]
2011	Baranov, Lafferty	2460	H <sub>2</sub> O	290–430	К	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[28]
2011	Plashnik et al.	190, 239 Гц	H <sub>2</sub> O	250–400	К	см <sup>-1</sup> , пр. ед.	[30]
2011	Plashnik et al.	300–1100	H <sub>2</sub> O	278–500	1000/T, К <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[30]
2011	Plashnik et al.	4200; 4300; 4400; 4500; 4600; 2400; 2500; 2600; 5800; 5900; 6000; 6100; 6200; 6300	H <sub>2</sub> O	290–700	1000/T, К <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[31]
2013	Klimeshina, Rodimova	900; 1000; 1100; 2400; 2500; 2600	H <sub>2</sub> O	286–500	1000/T, К <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[38]
2015	Mondelain et al.	4250	H <sub>2</sub> O	286–500	1000/T, К <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[49]
2016	Baranov	1128	H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub>	290–340	К	см <sup>-1</sup> , амага <sup>2</sup>	[53]
2016	Baranov		H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub>	290–340	К	см <sup>-1</sup> , амага <sup>2</sup>	[53]
2016	Campargue et al.	2283	H <sub>2</sub> O	250–500	1000/T, К <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[55]
2016	Shine et al.	4250; 4301; 4723	H <sub>2</sub> O	263–500	1000/T, К <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[57]
2016	Shine et al.	2400; 2500; 2600	H <sub>2</sub> O	263–500	1000/T, К <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[57]
2016	Shine et al.	5875; 6121; 6665	H <sub>2</sub> O	263–500	1000/T, К <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[57]
2017	Richard et al.	2490	H <sub>2</sub> O	278–500	1000/T, К <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[60]
2018	Lechevallier et al.	3000; 4301; 5006	H <sub>2</sub> O	278–500	1000/T, К <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[62]
2019	Plashnik et al.	1548; 1614; 1691; 3618; 3666; 3720; 3848	H <sub>2</sub> O, (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	268	1000/T, К <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> · мол <sup>-1</sup> · атм <sup>-1</sup>	[64]

Т а б л и ц а 6

**Константа равновесия реакции образования димера воды**

Год	Автор	Температура, К	Единицы оси $x$	Единицы оси $y$	Ссылка
2006	Scribano et al.	260–390	К	атм <sup>-1</sup>	[16]
2014	Tretyakov et al.	250–400	К	атм <sup>-1</sup>	[45]
2014	Serov et al.	270–390	К	атм <sup>-1</sup>	[46]
2019	Ptashnik et al.	260–390	К	атм <sup>-1</sup>	[64]

Т а б л и ц а 7

**Отличие контура линии от лоренцевского**

Год	Автор	Буферный газ	Единицы оси $x$	Единицы оси $y$	Ссылка
2017	Serov et al.	H <sub>2</sub> O	$\Delta\omega$ , см <sup>-1</sup>	$\chi$ (пр. ед.)	[61]
2019	Tran et al.	H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub>	$\Delta\omega$ , см <sup>-1</sup>	$\chi$ (пр. ед.)	[65]

(см., например, [62]), далеко выходящее за пределы ошибок эксперимента. Несмотря на усилия по выяснению физических причин такого расхождения [57], неясность в этом вопросе все еще остается.

## 2. Процедуры цитирования и свойства цитируемого графика

При исследовании цитирования опубликованных графиков важны используемые процедуры цитирования и нахождение качественных и количественных характеристик различия между дискретными функциями, соответствующими цитируемому и цитирующему графикам. Опубликованный цитирующий график характеризуется дискретной функцией, сопоставляемой с опубликованным ранее оригинальным графиком из иной публикации, также характеризуемым дискретной функцией. Обе эти функции, которые могут быть представлены или не представлены в публикации, содержатся в базе данных GrafOnto. Цитирующий график, опубликованный в графическом виде, предполагает, что для соответствующего ему цитируемого графика существуют значения функции в графическом или табличном представлении в иной ранней публикации.

**Определение.** Опубликованный график называется цитирующим, если в публикации для него указана библиографическая ссылка на опубликованную ранее статью, в которой подобное множество координатных пар представлено в аналитическом, графическом или табличном виде.

Для сравнения цитирующего и цитируемого графика необходимо привести физические величины, относящиеся к соответствующим осям системы координат, к одним и тем же единицам измерения и проверить наличие значений метаданных, определяемых значениями термодинамических величин, входящих в формулы расчета коэффициентов перехода между этими единицами измерения. Иногда ссылка на цитируемый график предполагает вычисление значений аналитической функции или использование табличных данных. Приведение графиков к одинаковым единицам измерения требует дополнительных вычислений.

Выделим три варианта процедуры цитирования при работе с графиками. К первому варианту относится сравнение дискретных функций графиков, не требующее дополнительных вычислений. Ко второму варианту относятся сравнения, в которых необходим пересчет единиц измерения функций, представляющих физические величины. Третий вариант процедуры требует вычислений значений дискретной функции цитируемого графика, представленного в аналитическом или табличном виде. Первые два варианта процедуры цитирования реализованы в ИС GrafOnto и далее рассматриваются как *пассивное цитирование*. Третий вариант будем называть *активным цитированием*, в настоящее время он в ИС не поддерживается.

Результаты сравнения цитирующего и цитируемого графиков относятся к *метаданным* цитирующего графика и описываются тремя атрибутами. Первый атрибут характеризует разницу числа значений дискретных функций, соответствующих этим графикам; он принимает значения: одинаковое, частичное или избыточное. Второй атрибут описывает интервал значений по оси абсцисс, на котором пересекаются сравниваемые функции в единицах измерения цитирующего графика. Третий атрибут – процентное различие сравниваемых дискретных функций.

Процедура оценки различия в паре «цитирующий и цитируемый графики» и примеры двух пар графиков описаны ниже.

## 3. Количественный метод оценки различия цитирующего и цитируемого графиков

При развитии информационной системы значительное внимание было уделено исследованию доверия цитированию, встречающемуся в публикациях. В нашей ранней работе [71], выполненной на примере цитирований работ Д. Бёрча и др., были показаны качественные результаты анализа цитирований. Количественная оценка впервые представлена в [79].

Основной проблемой исследования цитирования было несовпадение значений цитирующего и цитируемого графиков при условии, что сравниваемые значения могут не совпадать по обеим осям координат, т.е. это несовпадение присутствует как для значений аргумента, так и функции. Такое расхождение было обусловлено несколькими факторами. Во-первых, при распознавании графиков в старых публикациях качество графиков было низким, и по этой причине достигнуть высокой точности было невозможно. Во-вторых, существенное различие возникало при сравнении функций, представленных в разных масштабах, как правило, в линейном или логарифмическом.

При сравнении цитируемых и цитирующих графиков возникла задача разработки метрики среднего расхождения графиков, позволяющей быстро количественно оценить корректность цитирования.

Так как каждый из графиков представляет собой набор координатных пар  $(x, y)$ :  $O = \{(x_i^o, y_i^o)\}_{i=1, \dots, n}$  для цитируемого и  $C = \{(x_i^c, y_i^c)\}_{i=1, \dots, t}$  для цитирующего графиков (где  $n$  и  $t$  – количество точек в цитируемом и цитирующем графиках соответственно), и в общем случае значения их ординат и абсцисс могут не совпадать, то возникает проблема неоднородности. Для сравнения необходимо сначала достигнуть однородности множеств  $O$  и  $C$  по оси  $x$ . Это происходит следующим образом. Первоначально находится интервал, на котором множества  $O$  и  $C$  пересекаются. Если этот интервал пустой, то сравнение невозможно и программа возвращает ошибку. В обратном случае мы получаем множества  $O_R = \{(x_j^o, y_j^o)\}_{j=1, \dots, p}$  и  $C_R = \{(x_k^c, y_k^c)\}_{k=1, \dots, q}$ , в которые включаются лишь координатные пары, попадающие в интервал пересечения ( $p$  и  $q$  – количество точек цитируемого и цитирующего графиков, попадающих в интервал пересечения). Затем для значений абсцисс из множества  $O_R$  цитируемого графика, не совпадающих со значениями из множества  $C_R$ , рассчитываются ординаты  $y_j^c$  как линейная интерполяция между ординатами ближайших точек из множества  $C_R$  и в результате получается множество  $O_{Rl} = \{(x_l^o, y_l^o)\}_{l=1, \dots, r}$  ( $r$  – количество точек цитируемого графика, для которых значения абсцисс не совпадают со значениями из множества  $C_R$ ). Производя аналогичную операцию для цитирующего графика, мы получаем множество  $C_{Rm} = \{(x_m^c, y_m^c)\}_{m=1, \dots, s}$  ( $s$  – количество точек цитирующего графика, для которых значения абсцисс не совпадают со значениями из множества  $O_R$ ).

Таким образом, формируются два массива координатных пар  $O_{Rl}$  и  $C_{Rm}$ , которые мы можем

сравнить, так как они имеют попарно одинаковые абсциссы. Для каждого элемента этих множеств вычисляется модуль разницы между оригинальной ординатой  $y^o$  или интерполированной  $y_i^o$  и  $y^c$  или  $y_i^c$ . Если абсциссы точек из цитирующего и цитируемого графика совпадают, этим значением будет  $|y_o - y_c|$ ; для точек, содержащихся только в цитируемом графике, –  $|y_o - y_c^i|$ ; а для точек из цитирующего графика –  $|y_o^i - y_c|$ . Объединив множества  $O_R$  и  $O_{Rl}$ , мы получаем общее множество точек  $O_{Rf} = \{(x_f^o, y_f^o)\}_{f=1, \dots, v}$ , а объединив множества  $C_R$  и  $C_{Rm}$  – множество  $C_{Rf} = \{(x_f^c, y_f^c)\}_{f=1, \dots, v}$  для цитируемого и цитирующего графиков соответственно (размерность обоих множеств  $v = p + r = q + s$ ). У этих множеств полностью совпадают значения абсцисс, для каждого из которых рассчитывается модуль разницы ординат  $\Delta y_f = |y_f^o - y_f^c|$ . Затем значение этого модуля нормируется на значение ординаты той кривой, которая лежит выше, назовем ее  $U_e = \{(x_e, y_e)\}_{e=1, \dots, v}$ . В результате для каждой абсциссы как цитируемого, так и цитирующего графика мы получаем метрику расхождения  $\Delta r_f = \Delta y_f / |y_e|$  в данной точке. Усреднив значение этой метрики по всему массиву абсцисс, по формуле  $R = \sum_{f=1, \dots, v} (\Delta r_f / v) \cdot 100\%$  вычисляем общее значение расхождения для пары «цитирующий и цитируемый графики», находящееся между 0 и 100%.

На рис. 1 показаны сравниваемые цитирующий и цитируемый графики дискретных функций и проекции этих графиков на их линейные аппроксимации.

Из метода нормализации следует, что расхождение в 50% означает примерную среднюю разницу

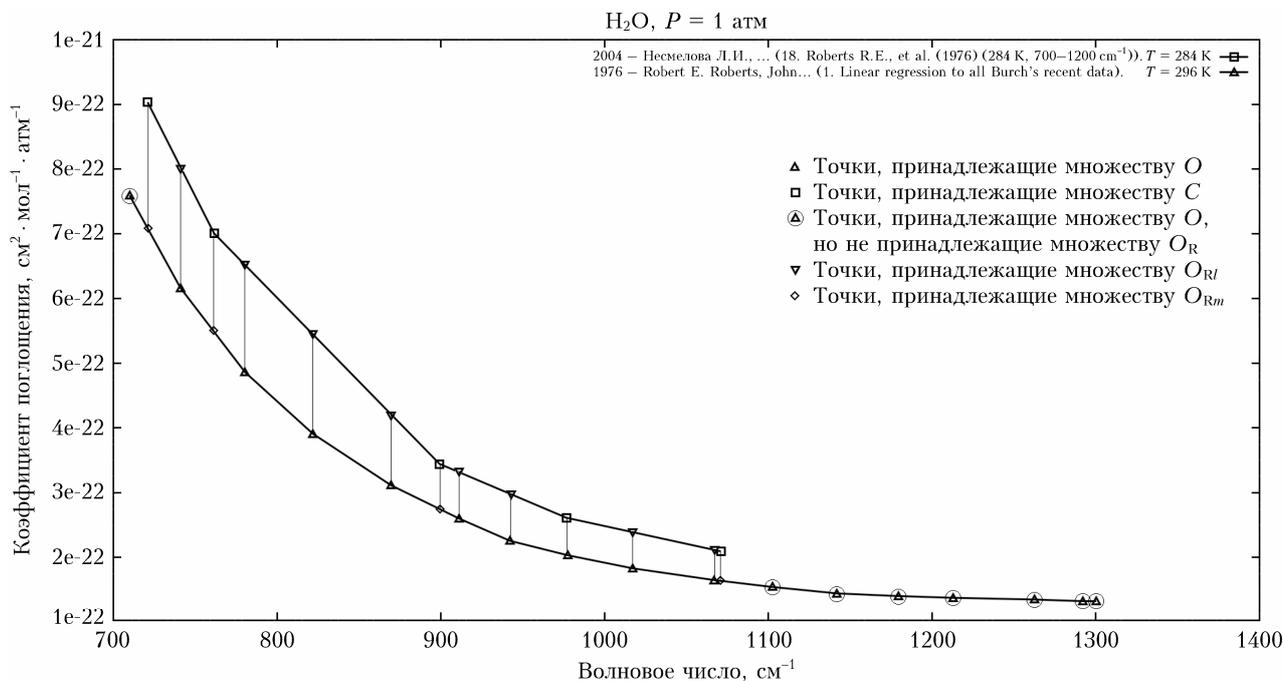


Рис. 1. Множества точек  $O$ ,  $C$ ,  $O_R$ ,  $O_{Rl}$  и  $C_{Rm}$  на примере сравнения цитируемого графика с цитирующим. Цитирующий график расположен сверху, он взят из рис. 18 в публикации [10]. Нижний график является цитируемым графиком, он взят из рис. 1 в публикации [80]

значений цитирующего и цитируемого графиков в два раза, расхождение 90% – в 10 раз, 99% – в 100 раз и т.д. (см. формулу расчета  $R$ ). Считать расхождение малым или большим зависит от эксперта и решаемой им задачи. При оценке качества цитирования мы считаем расхождение от 0 до 10% отличным (сравнимым с неопределенностью измерения), от 10 до 25% – хорошим, от 25 до 50% – спорным, а расхождения > 50% однозначно ошибочным цитированием. Объяснение различий больше 10% требует дополнительного исследования.

После воплощения вышеописанного метода оценки разницы цитируемого и цитирующего графиков была разработана следующая версия ПО, в которой вместо линейной интерполяции для составления множеств  $O_{RI}$  и  $C_{Rm}$  использовалась интерполяция кубическими сплайнами. Теоретически это должно было улучшить оценки среднего расхождения для гладких кривых, но на практике результаты оказались не впечатляющими. Во-первых, для сплайновой интерполяции необходимо минимально три точки вместо двух, что сразу же исключило 22 пары графиков. Во-вторых, из 667 пар «цитирующий и цитируемый графики» расхождения для сплайновой интерполяции оказались лучше, чем для линейной, лишь у 198 пар. Для 332 пар графиков лучшие результаты дала линейная интерполяция, а у 137 оставшихся разница между значениями менее 0,1%. В среднем на всем исследуемом массиве пар «цитирующий и цитируемый графики» при использовании сплайновой интерполяции расхождение хуже приблизительно на 5%, что вкуче с большей трудоемкостью вычислений приводит к выводам о нецелесообразности применения сплайновой интерполяции для решения задачи оценки разницы цитируемого и цитирующего графиков.

#### 4. Результаты сравнения цитирующих и цитируемых примитивных графиков

Количественные оценки сравнения можно использовать, с одной стороны, как для пары «цитирующий и цитируемый графики», так и для любой пары графиков с учетом целесообразности, например для сравнения результатов расчетов и измерений функций поглощения. С другой стороны, с их помощью можно оценивать качество отдельных частей собственной коллекции графических ресурсов в случаях, когда используются массивы данных, полученные путем сканирования и распознавания значений физических величин, а также коллекций разных организаций.

На рис. 2 показаны примеры пар графиков (цитирующий и цитируемый). На рис. 2, а цитирующий график взят из рис. 6 в публикации [81], цитируемый график из рис. 3 работы [83]. Оценка различия для этой пары графиков, равная 11%, связана как с частичным цитированием, так и с неудовлетворительным качеством цитируемого графика. На рис. 2, б цитирующий график взят из рис. 10 [82] и является объединением значений двух оригинальных графиков из статей Д. Бёрча, а цитируемый

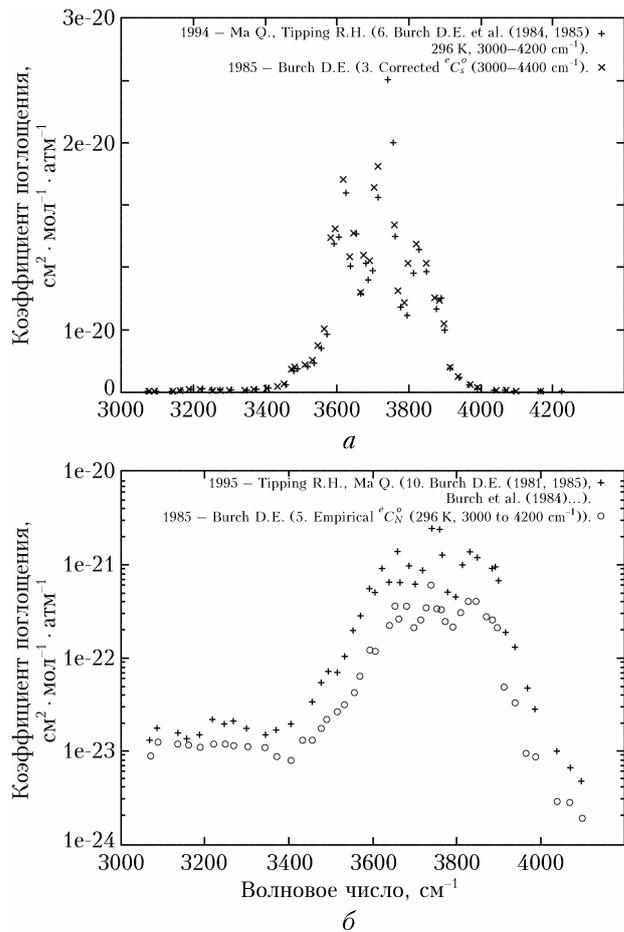


Рис. 2. Оценки различия пар «цитирующий и цитируемый графики»; среднее различие графиков: а – 11,25%; б – 52,86%

график взят из рис. 5 работы [83]. Анализ различия сравниваемых графиков (52,86%) на этом рисунке показал, что причина значительного расхождения – ошибка при распознавании цитирующего графика, обусловленная выбором неправильного масштаба оси абсцисс при оцифровке данных. Корректировка масштаба привела к оценке различия в 12,62%.

В табл. 8 представлены результаты связывания цитирующих графиков с цитируемыми. В первой колонке таблицы показан интервал значений метрики  $R$  для пары «цитирующий и цитируемый графики», в следующих трех колонках дано число пар, удовлетворяющих условиям первой колонки. Пятая

Таблица 8

Оценка различия пар «цитирующий и цитируемый графики»

Интервал $R$ , %	Количество пар графиков			Всего от общего количества пар графиков, %
	H <sub>2</sub> O	Смеси с H <sub>2</sub> O	Всего	
$0 \leq R < 10$	209	30	239	56,1
$10 \leq R < 25$	65	6	71	16,7
$25 \leq R < 50$	50	5	55	12,9
$50 \leq R < 100$	42	19	61	14,3
Всего	366	60	426	100

колонка описывает процент пар графиков для данного интервала значений расхождения от общего числа пар «цитирующий и цитируемый графики».

В табл. 9 в первой и второй строках приведено число пар «цитирующий и цитируемый графики», для которых в базе данных ИС GrafOnto присутствуют или отсутствуют цитируемые графики. В третьей строке дана сводная статистика по полному набору пар графиков в системе.

Таблица 9

Количество пар графиков, для которых в базе данных нет/есть цитируемый график

Цитирующие графики, для которых в системе	H <sub>2</sub> O	Смеси с H <sub>2</sub> O	Всего	Всего от общего количества пар графиков, %
Нет цитируемого графика	203	43	246	36,4
Есть цитируемый график	366	60	426	63,6
Всего	569	103	672	100

### Заключение

Данная статья завершает цикл работ по систематизации графических ресурсов, описывающих исследования по непрерывному поглощению водяного пара и его смесей, опубликованных в 1898–2020 гг.

В рассматриваемый период времени значительно активизировались экспериментальные и теоретические исследования континуума водяного пара. Это позволило более детально говорить о физических причинах его происхождения. Наметились точки соприкосновения между различными теоретическими подходами к объяснению континуума, которые, в сущности, описывают разные стороны одного явления. Это позволяет надеяться на их разумное объединение, которое могло бы помочь устранению неясностей, существующих в рамках этих подходов. Все еще остается непонятным расхождение результатов измерений континуума различными методами, выходящее за пределы ошибок эксперимента.

Внесены изменения в онтологию графических ресурсов в части наделения цитирующих примитивных графиков атрибутами, описывающими тип процесса цитирования, соотношение числа значений функций цитирующего и цитируемого графиков, интервал пересечения значений функций цитирующего и цитируемого графиков и оценку различия этой пары графиков.

Настоящая работа по оценке пар «цитирующий и цитируемый графики» является первой работой по исследованию качества цитирования графических ресурсов в физических науках. Для компьютерной обработки ее результаты представлены в форме онтологий графических ресурсов по исследованию непрерывного поглощения.

Дальнейшее пополнение графических ресурсов ориентировано на публикации, вышедшие после 2020 г. Объем увеличения онтологии за счет количественных оценок сравнений совместимых экспериментальных и расчетных данных методом, описанным выше, предполагается небольшим. Планируются про-

ведение анализа результатов оценки различия графиков в парах «цитирующий и цитируемый графики» для 27,3% таких пар, для которых  $25 \leq R < 100\%$ , и проверка значений термодинамических параметров для цитируемых и цитирующих графиков.

**Благодарности.** Авторы благодарны чл.-кор. РАН, д.ф.-м.н. И.В. Пташнику за предоставление оригинальных числовых массивов к графикам из его публикаций.

### Список литературы

- Vaida V., Daniel J.S., Kjaergaard H.G., Goss L.M., Tuck A.F. Atmospheric absorption of near infrared and visible solar radiation by the hydrogen bonded water dimer // *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* 2001. V. 127A, N 575. P. 1627–1643. DOI: 10.1002/qj.49712757509.
- Cormier J.G., Ciurylo R., Drummond J.R. Cavity ring-down spectroscopy measurements of the infrared water vapor continuum // *J. Chem. Phys.* 2002. V. 116, N 3. P. 1030–1034. DOI: 10.1063/1.1425825.
- Kuhn T., Bauer A., Godon M., Buhler S., Kunzi K. Water vapor continuum: Absorption measurements at 350 Hz and model calculations // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* 2002. V. 74. P. 545–562. DOI: 10.1016/S0022-4073(01)00271-0.
- Ma Q., Tipping R.H. The frequency detuning correction and the asymmetry of line shapes: The far wings of H<sub>2</sub>O–H<sub>2</sub>O // *J. Chem. Phys.* 2002. V. 116, N 10. P. 4102–4115. DOI: 10.1063/1.1436115.
- Ma Q., Tipping R.H. Water vapor millimeter wave foreign continuum. A Lanczos calculation in the coordinate representation // *J. Chem. Phys.* 2002. V. 117, N 23. P. 10581–10596. DOI: 10.1063/1.1516792.
- Бузыкин О.Г., Иванов С.В. Континуальное поглощение водяного пара в колебательно-неравновесных условиях // *Оптика атмосф. и океана.* 2003. Т. 16, № 3. С. 235–244.
- Ma Q., Tipping R.H. A simple analytical parameterization for the water vapor millimeter wave foreign continuum // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* 2003. V. 82. P. 517–531. DOI: 10.1016/S0022-4073(03)00175-4.
- Tonkov M.V., Filippov N.N. Collision induced far wings of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O bands in IR spectra // *Weakly Interacting Molecular Pairs: Unconventional Absorbers of Radiation in the Atmosphere.* Dordrecht: Springer, 2003. P. 125–136. DOI: 10.1007/978-94-010-0025-3\_10.
- Ptashnik I.V., Smith K.M., Shine K.P., Newnham D.A. Laboratory measurements of water vapour continuum absorption in spectral region 5000–5600 cm<sup>-1</sup>: Evidence for water dimers // *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* 2004. V. 130A, N 602. P. 2391–2408. DOI: 10.1256/qj.03.178.
- Несмелова Л.И., Родимова О.Б., Творогов С.Д. Коэффициент поглощения водяного пара при различных температурах // *Оптическая спектроскопия и стандарты частоты. Молекулярная спектроскопия / под общ. ред. Л.Н. Синицы и Е.А. Виноградова.* Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2004. С. 413–436.
- Sierk B., Solomon S., Daniel J.S., Portmann R.W., Gutman S.I., Langford A.O., Eubank C.S., Dutton E.G., Holub K.H. Field measurements of water vapor continuum absorption in the visible and near-infrared // *J. Geophys. Res.* 2004. V. 109. D08307. DOI: 10.1029/2003JD003586.

12. Cormier J.G., Hodges J.T., Drummond J.R. Infrared water vapor continuum absorption at atmospheric temperatures // *J. Chem. Phys.* 2005. V. 122, N 11. P. 114309. DOI: 10.1063/1.1862623.
13. Podobedov V.B., Plusquellic D.F., Fraser G.T. Investigation of the water-vapor continuum in the THz region using a multipass cell // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* 2005. V. 91. P. 287–295. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2004.05.061.
14. Vigasin A.A., Pavlyuchko A.I., Jin Y., Ikawa S. Density evolution of absorption band shapes in the water vapor OH-stretching fundamental and overtone: Evidence for molecular aggregation // *J. Mol. Struct. molstruc.* 2004. 12.060. DOI: 10.1016/j.molstruc.2004.12.060.
15. Bicknell W.E., Cecca S.D., Griffin M.K., Swartz S.D., Flusberg A. Search for low-absorption regions in the 1.6- and 2.1- $\mu\text{m}$  atmospheric windows // *J. Directed Energy.* 2006. V. 2. P. 151–61.
16. Scribano Y., Goldman N., Saykally R.J., Leforestier C. Water dimers in the atmosphere III: Equilibrium constant from a flexible potential // *J. Phys. Chem. A.* 2006. V. 110. P. 5411–5419. DOI: 10.1021/jp056759k.
17. Scribano Y., Leforestier C. Contribution of water dimer absorption to the millimeter and far infrared atmospheric water continuum // *J. Chem. Phys.* 2007. V. 126, N 23. P. 234301-1–234301-12. DOI: 10.1063/1.2746038.
18. Baranov Y.I., Lafferty W.J., Ma Q., Tipping R.H. Water-vapor continuum absorption in the 800–1250  $\text{cm}^{-1}$  spectral region at temperatures from 311 to 363 K // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* 2008. V. 109. P. 2291–2302. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2008.03.004.
19. Ma Q., Tipping R.H., Leforestier C. Temperature dependences of mechanisms responsible for the water-vapor continuum absorption: 1. Far wings of allowed lines // *J. Chem. Phys.* 2008. V. 128. P. 124313-1–124313-17. DOI: 10.1063/1.2839604.
20. Podobedov V.B., Plusquellic D.F., Siegrist K.E., Fraser G.T., Ma Q., Tipping R.H. New measurements of the water vapor continuum in the region from 0.3 to 2.7 THz // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* 2008. V. 109. P. 458–467. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2007.07.005.
21. Lee M.S., Baletto F., Kanhere D.G., Scandolo S. Far-infrared absorption of water clusters by first-principles molecular dynamics // *J. Chem. Phys.* 2008. V. 128, N 21. P. 214506-1–214506-5. DOI: 10.1063/1.2933248.
22. Ptashnik I.V. Evidence for the contribution of water dimers to the near-IR water vapour self-continuum // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* 2008. V. 109. P. 831–852. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2007.09.004.
23. Serio C., Guido M., Esposito F., Di Girolamo P., Di Iorio T., Palchetti L., Bianchini G., Muscari G., Pavese G., Rizzi R., Carli B., Cuomo V. Retrieval of foreign-broadened water vapor continuum coefficients from emitted spectral radiance in the  $\text{H}_2\text{O}$  rotational band from 240 to 590  $\text{cm}^{-1}$  // *Opt. Express.* 2008. V. 16, N 20. P. 15816–15833. DOI: 10.1364/OE.16.015816.
24. Paynter D.J., Ptashnik I.V., Shine K.P., Smith K.M., McPheat R.M., Williams R.G. Laboratory measurements of the water vapor continuum in the 1200–8000  $\text{cm}^{-1}$  region between 293 and 351 K // *J. Geophys. Res.* 2009. V. 114. P. D21301. DOI: 10.1029/2008JD011355.
25. Rowe P.M., Walden V.P. Improved measurements of the foreign-broadened continuum of water vapor in the 6.3  $\mu\text{m}$  band at  $-30^\circ\text{C}$  // *Appl. Opt.* 2009. V. 48, N 17. P. 1358–1365. DOI: 10.1364/AO.48.001358.
26. Leforestier C., Tipping R.H., Ma Q. Temperature dependences of mechanisms responsible for the water-vapor continuum absorption. II. Dimers and collision-induced absorption // *J. Chem. Phys.* 2010. V. 132, N 16. P. 164302. DOI: 10.1063/1.3384653.
27. Baranov Yu.I. The continuum absorption in  $\text{H}_2\text{O} + \text{N}_2$  mixtures in the 3–5  $\mu\text{m}$  spectral region at temperatures from 326 to 363 K // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* 2011. V. 112. P. 2281–2286. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2011.06.005.
28. Baranov Yu.I., Lafferty W.J. The water-vapor continuum and selective absorption in the 3–5  $\mu\text{m}$  spectral region at temperatures from 311 to 363 K // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* 2011. V. 112. P. 1304–1313. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2011.01.024.
29. Koshelev M.A., Serov E.A., Parshin V.V., Tretyakov M.Yu. Millimeter wave continuum absorption in moist nitrogen at temperatures 261–328 K // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* 2011. V. 112. P. 2704–2712. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2011.08.004.
30. Ptashnik I.V., Shine K.P., Vigasin A.A. Water vapour self-continuum and water dimers: 1. Analysis of recent work // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* 2011. V. 112. P. 1286–1303. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2011.01.012.
31. Ptashnik I.V., McPheat R.A., Shine K.P., Smith K.M., Williams R.G. Water vapor self-continuum absorption in near-infrared windows derived from laboratory experiments // *J. Geophys. Res.* 2011. V. 116. D16305. DOI: 10.1029/2011JD015603.
32. Baranov Yu.I., Buryak I.A., Lokshantov S.E., Lukyanchenko V.A., Vigasin A.A.  $\text{H}_2\text{O}-\text{N}_2$  collision-induced absorption band intensity in the region of the  $\text{N}_2$  fundamental: *Ab initio* investigation of its temperature dependence and comparison with laboratory data // *Philos. Trans. R. Soc. A.* 2012. V. 370. P. 2691–2709. DOI: 10.1098/rsta.2011.0189.
33. Baranov Yu.I., Lafferty W.J. The water vapour self- and water-nitrogen continuum absorption in the 1000 and 2500  $\text{cm}^{-1}$  atmospheric windows // *Philos. Trans. R. Soc. A.* 2012. V. 370. P. 2578–2589. DOI: 10.1098/rsta.2011.0234.
34. Klimeshina T.E., Bogdanova Yu.V., Rodimova O.B. Water vapor continuum absorption in the 8–12 and 3–5  $\mu\text{m}$  atmospheric transparency windows // *Atmos. Ocean. Opt.* 2012. V. 25, N 1. P. 71–76. DOI: 10.1134/S102485601201006X.
35. Mlawer E.J., Payne V.H., Moncet J.-L., Delamere J.S., Alvarado M.J., Tobin D.C. Development and recent evaluation of the MT\_CKD model of continuum absorption // *Philos. Trans. R. Soc. A.* 2012. V. 370. P. 2520–2556. DOI: 10.1098/rsta.2011.0295.
36. Ptashnik I.V., McPheat R.A., Shine K.P., Smith K.M., Williams R.G. Water vapour foreign-continuum absorption in near-infrared windows from laboratory measurements // *Philos. Trans. R. Soc. A.* 2012. V. 370. P. 2557–2577. DOI: 10.1098/rsta.2011.0218.
37. Климешина Т.Е., Родимова О.Б. Изменение контура линии в крыле от полосы к полосе в случае  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CO}_2$  // *Оптика атмосф. и океана.* 2013. Т. 26, № 1. С. 18–23.
38. Klimeshina T.E., Rodimova O.B. Temperature dependence of the water vapor continuum absorption in the 3–5  $\mu\text{m}$  spectral region // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* 2012. V. 119. P. 77–83. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2012.12.020.
39. Mondelain D., Aradj A., Kassi S., Campargue A. The water vapour self-continuum by CRDS at room temperature in the 1.6  $\mu\text{m}$  transparency window // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* 2013. V. 130. P. 381–391. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2013.07.006.

40. Ptashnik V., Petrova T.M., Ponomarev Yu.N., Shine K.P., Solodov A.A., Solodov A.M. Near-infrared water vapour self-continuum at close to room temperature // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2013. V. 120. P. 23–35. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2013.02.016.
41. Slocum D.M., Slingerland E.J., Giles R.H., Goyette T.M. Atmospheric absorption of terahertz radiation and water vapor continuum effects // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2013. V. 127. P. 49–63. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2013.04.022.
42. Tretyakov M.Yu., Serov E.A., Koshelev M.A., Parshin V.V., Krupnov A.F. Water dimer rotationally resolved millimeter-wave spectrum observation at room temperature // Phys. Rev. Lett. 2013. V. 110, N 9. P. 093001-1–093001-4. DOI: 10.1103/PhysRevLett.110.093001.
43. Mondelain D., Manigand S., Kassi S., Campargue A. Temperature dependence of the water vapor self-continuum by cavity ring down spectroscopy in the 1.6  $\mu\text{m}$  transparency window // J. Geophys. Res.: Atmos. 2014. V. 119, N 9. P. 5625–5639. DOI: 10.1002/2013JD021319.
44. Пташник И.В., Петрова Т.М., Пономарев Ю.Н., Солодов А.А., Солодов А.М. Континуальное поглощение водяного пара в окнах прозрачности ближнего ИК-диапазона // Оптика атмосф. и океана. 2014. Т. 27, № 11. С. 970–975.
45. Третьяков М.Ю., Кошелев М.А., Серов Е.А., Паршин В.В., Одинова Т.А., Бубнов Г.М. Димер воды и атмосферный континуум // Успехи физ. наук. 2014. Т. 184, № 11. С. 1199–1215.
46. Serov E.A., Koshelev M.A., Odintsova T.A., Parshin V.V., Tretyakov M.Yu. Rotationally resolved water dimer spectra in atmospheric air and pure water vapour in the 188–258 Hz range // Phys. Chem. Chem. Phys. 2014. V. 16. P. 26221–26233. DOI: 10.1039/c4cp03252g.
47. Shine K.P., Ptashnik I., Radel G. The water vapour continuum: Brief history and recent developments // Surv. Geophys. 2014. V. 33, N 3–4. P. 1–21. DOI: 10.1007/s10712-011-9170-y.
48. Klimeshina T.E., Rodimova O.B. Water-vapor foreign-continuum absorption in the 8–12 and 3–5  $\mu\text{m}$  atmospheric windows // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2015. V. 161. P. 145–152. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2015.04.005.
49. Mondelain D., Vasilchenko S., Cermak P., Kassi S., Campargue A. The self- and foreign-absorption continua of water vapor by cavity ring-down spectroscopy near 2.35  $\mu\text{m}$  // Phys. Chem. Chem. Phys. 2015. V. 17, N 27. P. 17762–17770. DOI: 10.1039/C5CP01238D.
50. Пташник И.В. Континуальное поглощение водяного пара: краткая предыстория и современное состояние проблемы // Оптика атмосф. и океана. 2015. Т. 28, № 5. С. 443–459. DOI: 10.15372/AOO20150508.
51. Rodimova O.B. Continuum water vapor absorption in the 4000–8000  $\text{cm}^{-1}$  region // Proc. SPIE. 2015. V. 9680. P. 968002. DOI: 10.1117/12.2205332.
52. Tretyakov M.Yu., Syssov A.A., Odintsova T.A., Kyuberis A.A. Collision-induced dipole moment and millimeter and submillimeter continuum absorption in water vapor // Radiophys. Quantum Electron. 2015. V. 58, N 4. P. 262–276. DOI: 10.1007/s11141-015-9600-7.
53. Baranov Yu.I. On the significant enhancement of the continuum-collision induced absorption in  $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$  mixtures // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2016. V. 175. P. 100–106. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2016.02.017.
54. Bogdanova J.V., Rodimova O.B. The water vapor absorption in the long wave wing of the rotational band // Proc. SPIE. 2016. V. 10035. P. 1003506. DOI: 10.1117/12.2249129.
55. Campargue A., Kassi S., Mondelain D., Vasilchenko S., Romanini D. Accurate laboratory determination of the near infrared water vapor self-continuum: A test of the MT\_CKD model // J. Geophys. Res.: Atmos. 2016. V. 121. P. 13180–13203. DOI: 10.1002/2016JD025531.
56. Reichert A. Quantification of the infrared water vapor continuum by atmospheric measurements // Dissertation an der Fakultät für Physik der Ludwig-Maximilians-Universität München angefertigt am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Institut für Meteorologie und Klimaforschung Atmosphärische Umweltforschung (IMK-IFU) Garmisch-Partenkirchen vorgelegt von Andreas Reichert aus Kosching München. 24.10.2016.
57. Shine K.P., Campargue A., Mondelain D., McPheat R.A., Ptashnik I.V., Weidmann D. The water vapour continuum in near-infrared windows – current understanding and prospects for its inclusion in spectroscopic databases // J. Mol. Spectrosc. 2016. V. 327. P. 193–208. DOI: 10.1016/j.jms.2016.04.011.
58. Simonova A.A., Ptashnik I.V. Estimation of water dimers contribution to the water vapour continuum absorption within 0.94 and 1.13  $\mu\text{m}$  bands // Proc. SPIE. 2016. V. 10035. P. 100350K. DOI: 10.1117/12.2249458.
59. Odintsova T.A., Tretyakov M.Yu., Pirali O., Roy P. Water vapor continuum in the range of rotational spectrum of  $\text{H}_2\text{O}$  molecule: New experimental data and their comparative analysis // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2017. V. 187. P. 116–123. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2016.09.00.
60. Richard L., Vasilchenko S., Mondelain D., Ventillard I., Romanini D., Campargue A. Water vapor self-continuum absorption measurements in the 4.0 and 2.1  $\mu\text{m}$  transparency windows // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2017. V. 201. P. 171–179. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2017.06.037.
61. Serov E.A., Odintsova T.A., Tretyakov M.Yu., Semenov V.E. On the origin of the water vapor continuum absorption within rotational and fundamental vibrational bands // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2017. V. 193. P. 1–12. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2017.02.011.
62. Lechevallier L., Vasilchenko S., Grilli R., Mondelain D., Romanini D., Campargue A. The water vapour self-continuum absorption in the infrared atmospheric windows: New laser measurements near 3.3 and 2.0  $\mu\text{m}$  // Atmos. Meas. Technol. 2018. V. 11. P. 2159–2171. DOI: 10.5194/amt-11-2159-2018.
63. Odintsova T., Tretyakov M.Yu., Zibarova A.O., Pirali O., Roy P., Campargue A. Far-infrared self-continuum absorption of  $\text{H}_2^{16}\text{O}$  and  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  (15–500  $\text{cm}^{-1}$ ) // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2019. V. 227. P. 190–209. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2019.02.01.
64. Ptashnik I., Klimeshina T.E., Solodov A.A., Vigin A.A. Spectral composition of the water vapour self-continuum absorption within 2.7 and 6.25  $\mu\text{m}$  bands // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2019. V. 228. P. 97–105. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2019.02.024.
65. Tran H., Turbet M., Hanoufa S., Landsheere X., Chelin P., Ma Q., Hartmann J.-M. The  $\text{CO}_2$ -broadened  $\text{H}_2\text{O}$  continuum in the 100–1500  $\text{cm}^{-1}$  region. Measurements, predictions, and empirical model // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2019. V. 230. P. 75–80. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2019.03.016.
66. Vasilchenko S., Campargue A., Kassi S., Mondelain D. The water vapour self- and foreign-continua in the 1.6  $\mu\text{m}$  and 2.3  $\mu\text{m}$  windows by CRDS at room temperature //

- J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2019. V. 227. P. 230–238. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2019.02.016.
67. Birk M., Wagner G., Loos J., Shine K.P. 3  $\mu\text{m}$  water vapor self- and foreign-continuum: New method for determination and new insights into the self-continuum // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2020. V. 253. P. 107134(1–22). DOI: 10.1016/j.jqsrt.2020.107134.
68. Mondelain D., Vasilchenko S., Kassi S., Campargue A. The water vapor foreign-continuum in the 1.6  $\mu\text{m}$  window by CRDS at room temperature // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2020. V. 246. P. 106923(1–7). DOI: 10.1016/j.jqsrt.2020.106923.
69. Lavrent'ev N.A., Rodimova O.B., Fazliev A.Z. Systematization of published scientific graphics characterizing the water vapor continuum absorption. I. Publications of 1898–1980 // Proc. SPIE. 2018. V. 10833. P. 108330A-9. DOI: 10.1117/12.2504325.
70. Лаврентьев Н.А., Родимова О.Б., Фазлиев А.З. Систематизация опубликованной научной графики, представляющей характеристики континуального поглощения водяного пара. II. Публикации 1981–2000 гг. // Оптика атмосфер. и океана. 2022. Т. 35, № 3. С. 217–231. DOI: 10.15372/AOO20220307.
71. Akhlestin A.Yu., Lavrentiev N.A., Rodimova O.B., Fazliev A.Z. The continuum absorption: Trust assessment of published graphical information // Proc. SPIE. 2019. V. 11208. P. 112080P. DOI: 10.1117/12.2541741.
72. Tretyakov M.Yu., Krupnov A.F., Koshelev M.A., Markarov D.S., Serov E.A., Parshin V.V. Resonator spectrometer for precise broadband investigations of atmospheric absorption in discrete lines and water vapor related continuum in millimeter wave range // Rev. Sci. Instrum. 2009. V. 80, N 9. P. 093106-1–093106-10. DOI: 10.1063/1.3204447.74.
73. Пташник И.В. Димеры воды: «неизвестный» эксперимент // Оптика атмосфер. и океана. 2005. Т. 18, № 4. С. 359–362.
74. Vigasin A.A. Bound, metastable and free states of bimolecular complexes // Infrared Phys. 1991. V. 32. P. 461–470.
75. Stogryn D.E., Hirschfelder J.O. Contribution of bound, metastable, and free molecules to the second virial coefficient and some properties of double molecular // J. Chem. Phys. 1959. V. 31, N 6. P. 1531–1545.
76. Несмелова Л.И., Родимова О.Б., Творогов С.Д. Контур спектральной линии и межмолекулярное взаимодействие. Новосибирск: Наука, 1986. 216 с.
77. Богданова Ю.В., Климешина Т.Е., Родимова О.Б. Димерное поглощение в ИК-полосах водяного пара // Оптика атмосфер. и океана. 2019. Т. 32, № 10. С. 801–807.
78. Богданова Ю.В., Родимова О.Б. Соотношение между поглощением мономерами и димерами водяного пара в пределах вращательной полосы  $\text{H}_2\text{O}$  // Оптика атмосфер. и океана. 2018. Т. 31, № 5. С. 341–348.
79. Лаврентьев Н.А., Фазлиев А.З. Метод количественной оценки качества цитирования научных графиков // Сборник трудов российской конференции с международным участием «Распределенные информационно-вычислительные ресурсы (DICR-2022)». Россия. г. Новосибирск, 5–8 декабря 2022 г. / под ред. С.А. Рылова, Ю.И. Молородова, А.А. Жирнова, Ю.Н. Сиявского. Новосибирск: 2022. DOI: 0.25743/DIR.2022.24.51.022.
80. Roberts R.E., Selby J.E.A., Biberman L.M. Infrared continuum absorption by atmospheric water vapor in the 8–12- $\mu\text{m}$  window // Appl. Opt. 1976. V. 15, N 9. P. 2085–2090. DOI: 10.1364/AO.15.002085.
81. Ma Q., Tipping R.H. A near-wing correction to the quasistatic far-wing line shape theory // J. Chem. Phys. 1994. V. 100, N 4. P. 2537–2546. DOI: 10.1063/1.466502.
82. Tipping R.H., Ma Q. Theory of the water continuum and validations // Atmos. Research. 1995. V. 36, N 1–2. P. 69–94. DOI: 10.1016/0169-8095(94)00028-C.
83. Burch D.E. Absorption by  $\text{H}_2\text{O}$  in narrow windows between 3000–4200  $\text{cm}^{-1}$ . Report AFGL-TR-85-0036 by Ford Aerospace and Communications Corporation, Aeronutronic Division to AFGL, United States Air Force, Hanscom AFB, USA, Massachusetts. 1985. 37.

**N.A. Lavrentiev, O.B. Rodimova, A.Z. Fazliev. Systematization of published scientific graphics characterizing the water vapor continuum absorption: III. Publications of 2001–2020.**

Graphical resources on the continuum absorption of water vapor and its mixtures published in 2011–2020 are described. Summary tables are presented that characterize the main parameters of the absorption coefficients and transmission functions in different spectral intervals, the temperature dependence of the absorption coefficient, and the equilibrium constant of the water dimer formation reaction. The features of the study of the continuum absorption in published works in this time interval are noted.

In a concise form, the results of the assessment of the quality of citing plots are presented, which are described by four qualitative and quantitative attributes. Three citation procedures are characterized, two of which are computerized. A method for estimating the difference between the citing and cited plots and examples of pairs “citing and cited plots” with a quantitative assessment of the difference are presented.