

Параметры линий поглощения молекулы воды в спектральной области 5900–6100 см⁻¹

В.М. Дейчули, Т.М. Петрова, А.М. Солодов, А.А. Солодов,
Т.Ю. Чеснокова, А.М. Трифонова-Яковлева*

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

Поступила в редакцию 14.12.2020 г.

В области 5900–6100 см⁻¹ на Фурье-спектрометре Bruker IFS 125 HR зарегистрированы линии поглощения молекулы воды, уширенные давлением атмосферного воздуха. Определены интенсивности, коэффициенты уширения и сдвига линий поглощения H₂O для контура линий Фойгта и модифицированного контура Фойгта, учитывающего зависимость уширения от скоростей сталкивающихся молекул. Проведено моделирование атмосферного пропускания с использованием параметров линий поглощения H₂O из различных версий спектроскопических баз данных HITRAN и GEISA и с определенными нами параметрами; выполнено сравнение с измеренными атмосферными солнечными спектрами. Показано, что применение наших параметров линий поглощения H₂O позволяет улучшить согласие между модельными и измеренными атмосферными спектрами.

Ключевые слова: водяной пар, Фурье-спектроскопия, атмосферное пропускание, параметры линий поглощения; water vapor, Fourier transform spectroscopy, atmospheric transmission, absorption line parameters.

Введение

Спектральную область 5900–6100 см⁻¹ часто используют для определения содержания CH₄ в атмосфере Земли [1, 2]. Наряду с линиями поглощения метана в данном спектральном диапазоне наблюдаются линии поглощения водяного пара, углекислого газа, этилена, которые могут перекрываться как друг с другом, так и с линиями поглощения метана. При решении обратной задачи определения содержания метана из измеренных атмосферных спектров минимизируют различие между измеренным и модельным спектрами, поэтому результаты определения содержания метана напрямую зависят от точности исходной спектроскопической информации по параметрам линий поглощения газов.

В работе [3] было показано, что неопределенности в параметрах линий поглощения H₂O приводят к погрешностям восстановления общего содержания CH₄ из спутниковых измерений в ближнем ИК-диапазоне. Эта погрешность коррелирует с содержанием водяного пара в атмосфере; она минимальна в пустынных регионах с низкой влажностью. Атмосферные спектры, вычисленные с параметрами

линий поглощения H₂O из экспериментального банка Vxl-Reims [4], оказались ближе к измеренным спектрам по сравнению с результатами вычислений со значениями из спектроскопической базы данных HITRAN. Это привело к уменьшению оценок глобальной эмиссии метана [3], однако неопределенности полностью не были устранены.

Сравнение значений атмосферного пропускания [5], вычисленных с параметрами линий поглощения H₂O из современных спектроскопических баз данных, показало различие в пропускании более 0,1 даже для ближайших версий базы данных HITRAN2012 и HITRAN2016 в диапазоне 5900–6100 см⁻¹; при сравнении последних версий GEISA2015 и HITRAN2016 было выявлено различие до 0,07. Поэтому уточнение параметров линий H₂O в рассматриваемом интервале будет полезным для задач определения содержания метана в атмосфере дистанционными спектроскопическими методами.

В нашей работе проведены высокоточные измерения спектров поглощения водяного пара на Фурье-спектрометре при различных давлениях воздуха в диапазоне 5900–6100 см⁻¹ и определены параметры линий поглощения H₂O с использованием стандартного контура Фойгта и модифицированного контура Фойгта, зависящего от скорости столкновения молекул. Полученные параметры были протестированы путем сравнения спектров, смоделированных с их использованием, с измеренными атмосферными солнечными спектрами.

* Владимир Михайлович Дейчули (dvm91@yandex.ru); Татьяна Михайловна Петрова (tanja@iao.ru); Александр Михайлович Солодов (solodov@iao.ru); Александр Александрович Солодов (asolodov@iao.ru); Татьяна Юрьевна Чеснокова (ches@iao.ru); Алиса Михайловна Трифонова-Яковлева (yakovleva.eanet@gmail.com).

Эксперимент

Измерения спектров поглощения молекул воды, уширенных давлением воздуха, в спектральном диапазоне 5900–6100 см⁻¹ были выполнены в ИОА СО РАН на Фурье-спектрометре Bruker IFS 125HR [6]. В качестве излучателя в спектрометре использовался вольфрамовый источник света; излучение регистрировалось с помощью InSb-детектора, охлаждаемого жидким азотом. Так как линии поглощения молекулы воды в рассматриваемой спектральной области достаточно слабые, то для регистрации была использована многоходовая газовая кювета с базой 30 м. Разработанная оптическая система позволяет изменять длину оптического пути от 166,9 до 1058,44 м. В работе максимальная оптическая длина была 1058,44 м.

Были зарегистрированы четыре спектра поглощения смеси «H₂O – атмосферный воздух». Давление паров воды определялось датчиком MKS Vacatron (паспортная погрешность 0,25%). Для улучшения отношения сигнал-шум при измерении спектров поглощения для каждого буферного газа проводилось 3000 сканирований. Экспериментальные условия для зарегистрированных спектров приведены в табл. 1.

Таблица 1

Экспериментальные условия регистрации спектров поглощения смеси «H₂O – атмосферный воздух»

Номер спектра	Спектральное разрешение, см ⁻¹	Давление H ₂ O, атм	Давление воздуха, атм	Температура, К
1	0,010	0,0261	0,1909	302,3
2	0,011	0,0272	0,2915	302,3
3	0,012	0,0288	0,3889	302,2
4	0,013	0,0298	0,6097	302,2

Отношение сигнал-шум было определено с помощью стандартной программы OPUS 6.5 и равнялось 6000 для единичного поглощения.

Определение параметров линий поглощения молекулы воды

Оценивались следующие параметры спектральных линий: положение центра; интенсивность; коэффициенты самоуширения; коэффициенты уширения, сдвига и сужения, индуцированные давлением атмосферного воздуха. Так как давление паров воды во всех образцах менялось незначительно, то коэффициенты сдвига, вызванные собственным давлением, приравнивались к нулю.

Для определения параметров линий использовались две модели формы контура – традиционный контур Фойгта и квадратичный профиль Фойгта, учитывающий зависимость уширения от скоростей сталкивающихся молекул (qSDV). Применялась процедура одновременной обработки методом наимень-

ших квадратов четырех спектров, зарегистрированных при разных условиях [7, 8]. Параметры линий поглощения с qSDV-профилем находились с помощью достаточно простого алгоритма, представленного в работах [9, 10].

Параметры спектральных линий молекулы воды (квантовая идентификация, положение центра линии, ее интенсивность, коэффициенты уширения, вызванные собственным давлением и давлением воздуха, коэффициенты сдвига и энергии нижнего уровня) занесены в известные спектроскопические атласы данных, например HITRAN и GEISA [11, 12]. Поскольку в базах данных приведены значения интенсивностей линий при температуре 296 К, мы пересчитали значения интенсивностей к этой температуре по хорошо известным формулам. Температурная зависимость интенсивности колебательно-вращательных линий молекулы H₂O определяется выражением

$$S = C_1 \frac{N_J}{Q_V Q_R} \exp\left(\frac{-hcE''}{k_B T}\right) \left[1 - \exp\left(\frac{-hcv}{k_B T}\right)\right],$$

где C_1 – коэффициент, включающий все температурно-независимые члены; N_J – заселенность вращательного уровня J ; E'' – энергия нижнего состояния; c – скорость света; k_B – постоянная Больцмана; T – температура; h – постоянная Планка;

$$Q_V = \prod_{i=1}^3 \left[1 - \exp\left(\frac{-hcv_i}{k_B T}\right)\right]^{-1}$$

– колебательная статистическая сумма H₂O, v_i – основные колебательные частоты молекулы воды; Q_R – вращательная статистическая сумма H₂O, в небольшом диапазоне изменения температуры (± 10 °C) ее можно аппроксимировать выражением [13]:

$$Q_R(T) = Q_R(296) \frac{T}{296}.$$

Погрешность параметров линий определяется погрешностью измерения давления и температуры и погрешностью, возникающей при подгонке контура спектральной линии. Для сильных изолированных линий поглощения погрешность интенсивности составляла 1%.

Для контроля полученные параметры линий поглощения молекулы воды сравнивались с высокоточными значениями интенсивностей для 35 линий в области 7714–7920 см⁻¹ [14] (рис. 1). В [14] спектр поглощения молекулы воды был исследован с помощью высокоточного метода затухания сигнала во внешнем высокочастотном резонаторе; для определения параметров использовались современные модели формы контура. Отличие интенсивностей не превышало 1%, за исключением четырех линий с центрами 7745,697; 7761,146; 7777,494 и 7792,068 см⁻¹, для которых это отношение было более 1%. Такая разница в основном обусловлена тем, что эти спектральные линии не являются

изолированными и погрешности определения их интенсивностей несколько хуже, чем для изолированных линий.

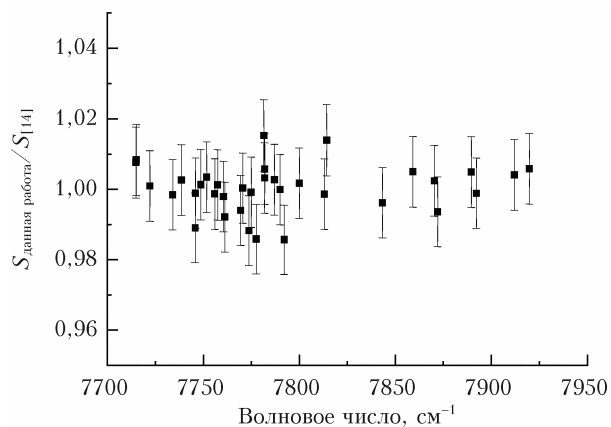


Рис. 1. Интенсивности линий поглощения молекулы воды, полученные в данной работе и в работе [14]

В области $5900\text{--}6100\text{ см}^{-1}$ были зарегистрированы около 100 линий поглощения молекулы воды следующих колебательно-вращательных полос: $\nu_2 + \nu_3$, $4\nu_2$ и $\nu_1 + \nu_2$. На рис. 2 и 3 можно сравнить значения интенсивностей, коэффициентов уширения и сдвига, полученные в данной работе для qSDV и взятые из спектроскопической базы данных HITRAN [12]. Заметим, что для исследуемой спектральной области в [12] приведены значения интенсивностей, рассчитанные авторами работы [15].

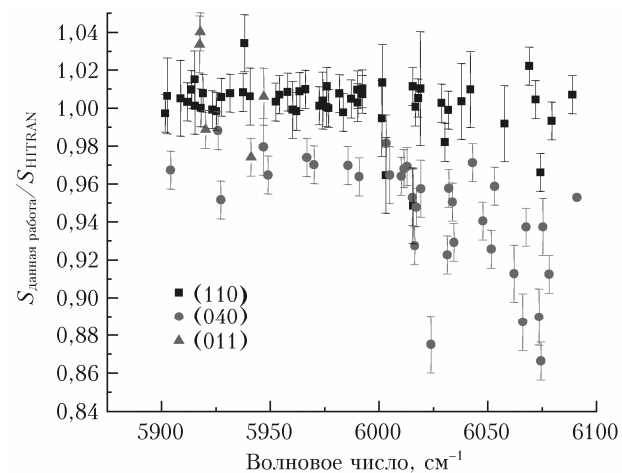


Рис. 2. Интенсивности линий поглощения молекулы, полученные в данной работе и приведенные в HITRAN

Отношение интенсивностей характеризуется следующей статистикой:

$$\langle S_{(110)} / S_{\text{HITRAN}} \rangle = 0,994 \pm 0,012,$$

$$\langle S_{(040)} / S_{\text{HITRAN}} \rangle = 0,938 \pm 0,031,$$

$$\langle S_{(011)} / S_{\text{HITRAN}} \rangle = 1,000 \pm 0,023.$$

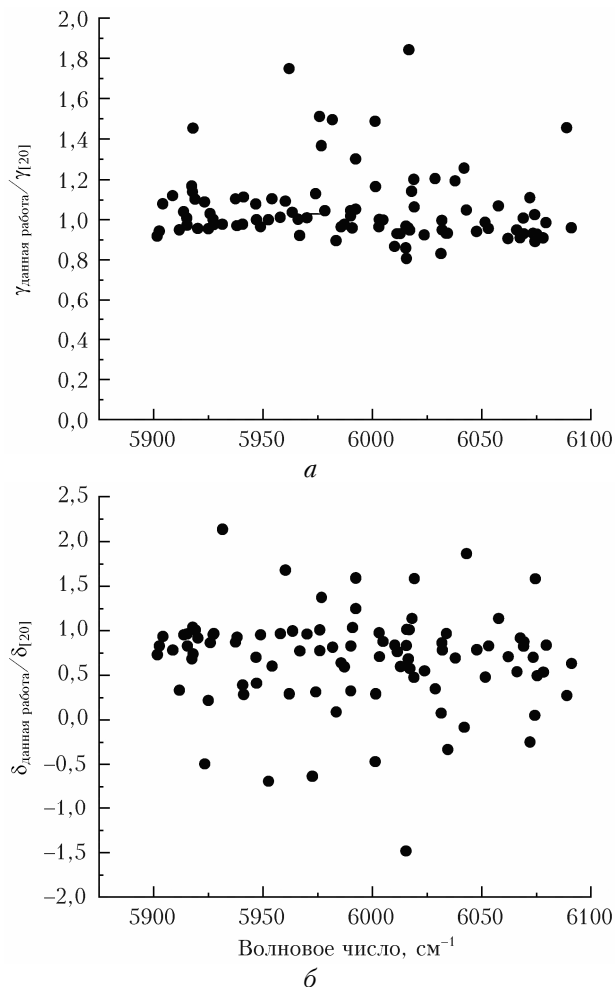


Рис. 3. Коэффициенты уширения (а) и сдвига (б) линий поглощения молекулы, полученные в данной работе и приведенные в HITRAN

Моделирование атмосферного пропускания

Мы провели моделирование атмосферного пропускания с новыми параметрами линий H_2O и сравнили его с атмосферными солнечными спектрами, измеренными наземным Фурье-спектрометром со спектральным разрешением $0,02\text{ см}^{-1}$ в обсерватории в Коуровке [16]. Моделирование атмосферных спектров осуществлялось при помощи пакета программ SFIT4 [17, 18] с учетом основных поглощающих газов и внеатмосферного спектра Солнца. Профили высотного распределения температуры, давления и концентрации газов были взяты из реанализа NCEP/NCAR [19, 20] и дополнены данными локальных наблюдений в Коуровке во время измерения спектров. На основе атмосферных измерений были протестированы наши экспериментальные параметры линий поглощения H_2O для стандартного контура Фойгта и модифицированного контура Фойгта qSDV. Данные для других газов взяты из HITRAN.

Атмосферное пропускание, вычисленное с нашими параметрами линий H_2O для контура Фойгта,

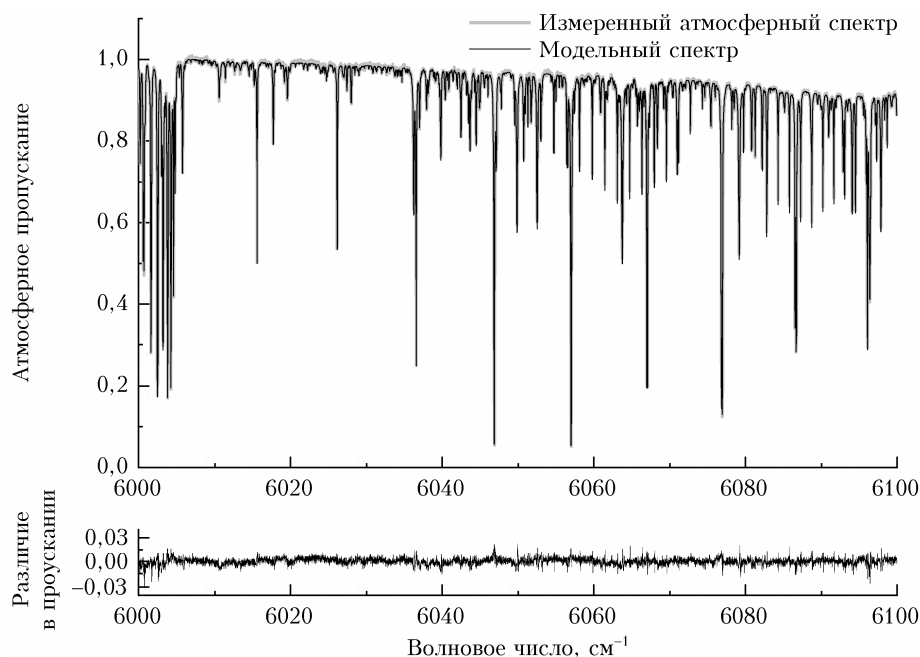


Рис. 4. Измеренный атмосферный солнечный спектр (Коуровка, 30.03.2015 г.; зенитный угол солнца $SZA = 55,9^\circ$) в сравнении с модельным спектром, вычисленным с использованием наших параметров линий H_2O для контура Фойгта. Параметры линий поглощения метана и углекислого газа взяты из HITRAN

приведено на рис. 4 в сравнении с атмосферным спектром солнечного излучения, измеренным на наземном Фурье-спектрометре в Коуровке. В интервале $6000\text{--}6100\text{ см}^{-1}$ использовались наши новые параметры для 94 линий H_2O . Наблюдается хорошее согласие модельного спектра с измеренным.

Расчеты пропускания с нашими параметрами линий H_2O для модифицированного контура Фойгта qSDV (10 сильных линий H_2O в диапазоне $6000\text{--}6020\text{ см}^{-1}$) также показали хорошее согласие с атмосферными измерениями (рис. 5). Параметры других

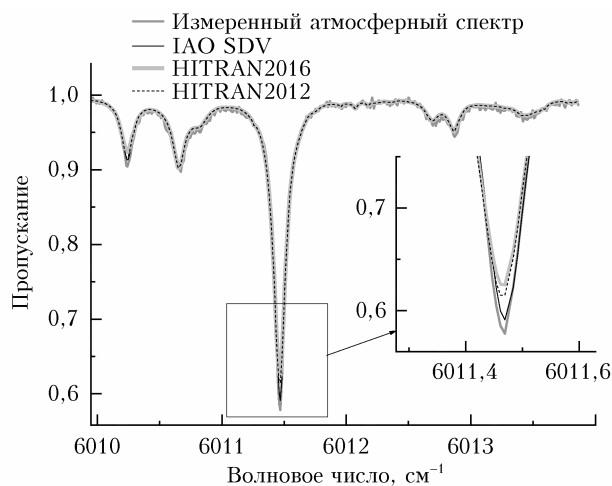


Рис. 5. Измеренный атмосферный солнечный спектр (Коуровка, 29.05.2015 г.; $SZA = 44,8^\circ$) и модельные спектры, вычисленные с нашими параметрами линий H_2O для контура qSDV и с данными HITRAN

линий поглощения водяного пара и остальных газов взяты из HITRAN. На рис. 5 для сравнения также приведены спектры атмосферного пропускания, вычисленные с параметрами линий H_2O из HITRAN2016 [11] и HITRAN2012 [21]. Видно, что использование контура qSDV с нашими параметрами приводит к лучшему согласию с измеренным спектром в данном спектральном диапазоне, чем использование параметров линий H_2O из HITRAN.

В табл. 2 приведено среднеквадратичное отклонение (RMS) измеренных атмосферных солнечных спектров от модельных спектров, вычисленных с параметрами линий H_2O из HITRAN2012 [21], HITRAN2016 [11], GEISA2011 [22], GEISA2015 [12], UCL [23] и с нашими данными (IAO_SDV и IAO_Voigt) в интервале $6000\text{--}6100\text{ см}^{-1}$ для атмосферных условий, наблюдающихся в Коуровке. Общее содержание (ОС) водяного пара в столбе атмосферы варьировало от 0,2 в марте до 2,46 $г/м^2$ в конце мая. Во всех рассмотренных случаях наименьшие значения RMS были при моделировании с нашими данными как для обычного контура Фойгта, так и для модифицированного контура Фойгта qSDV по сравнению с расчетами с параметрами линий H_2O HITRAN, GEISA и UCL. Особенно это проявляется в случаях с большим содержанием водяного пара в атмосфере. Для измерений 29 мая среднеквадратичное отклонение модельных спектров от измеренных атмосферных солнечных спектров было для наших данных: $RMS_{IAO\ SDV} = 0,4719$ и $RMS_{IAO\ Voigt} = 0,4625$, а для параметров линий H_2O из баз данных HITRAN, GEISA и UCL принимало значения от 0,5271 до 0,5514 (табл. 2).

Среднеквадратичное отклонение измеренных атмосферных солнечных спектров от модельных спектров, вычисленных с использованием параметров линий H₂O из различных спектроскопических банков данных в диапазоне 6000–6100 см⁻¹ (Коуровка, 2015 г.)

Дата	SZA, град.	OC H ₂ O, г/см ²	RMS, %						
			IAO SDV	IAO Voigt	HITRAN 2012	HITRAN 2016	GEISA 2011	GEISA 2015	UCL
31.03	54,44	0,199	0,4419	0,4416	0,442	0,4429	0,4424	0,4422	0,4419
1.04	52,92	0,251	0,4010	0,4001	0,4027	0,4032	0,4023	0,4019	0,4023
29.05	44,79	2,459	0,4719	0,4625	0,5429	0,5276	0,5271	0,5347	0,5514
16.06	52,18	2,242	0,5089	0,5122	0,5794	0,5695	0,5514	0,5842	0,5919
13.08	50,35	1,384	0,4707	0,4725	0,5100	0,5031	0,4900	0,5163	0,5166
15.09	55,43	1,169	0,4483	0,4472	0,4721	0,4729	0,4635	0,4760	0,4754

Заключение

С помощью Фурье-спектрометра в ИОА СО РАН были измерены спектры поглощения H₂O в интервале 5900–6100 см⁻¹ при изменении давления атмосферного воздуха от 0,2 до 0,7 атм и определены интенсивности, а также коэффициенты уширения и сдвига линий поглощения H₂O с контуром Фойгта, обычно применяющимся в атмосферных расчетах, и модифицированным контуром Фойгта qSDV, учитывающим зависимость уширения от скоростей сталкивающихся молекул.

Проведено моделирование атмосферного пропускания в исследуемом спектральном диапазоне с параметрами линий поглощения из различных версий популярных спектроскопических баз данных HITRAN и GEISA и с найденными нами параметрами линий H₂O. Сравнение модельных спектров с атмосферными солнечными спектрами, измеренными на наземном Фурье-спектрометре, показало следующее.

Спектры, смоделированные с использованием наших параметров линий поглощения водяного пара в диапазоне 6000–6100 см⁻¹, показывают лучшее согласие с измеренными, чем спектры, рассчитанные с параметрами из HITRAN и GEISA. Таким образом, найденные нами параметры позволяют повысить точность определения содержания метана из измеренных атмосферных спектров в рассматриваемом интервале.

Исследование проведено в рамках проекта РФФИ (грант № 18-45-700011 p_a) и Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук.

1. Wunch D., Toon G.C., Blavier J.F.L., Washenfelder R.A., Notholt J., Connor B.J., Griffith D.W.T., Sherlock V., Wennberg P.O. The total carbon column observing network // *Philos. Trans. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.* 2011. V. 369, N 1943. P. 2087–2112.
2. Greenhouse gases Observing SATellite (GOSAT) Project. URL: <http://www.gosat.nies.go.jp> (last access: 14.11.2020).
3. Frankenberg C., Bergamaschi P., Butz A., Houweling S., Meirink J.F., Notholt J., Petersen A.K., Schringer H., Warneke T., Aben I. Tropical methane emissions: A revised view from SCIAMACHY onboard ENVISAT // *Geophys. Res. Lett.* 2008. V. 35. P. L15811. DOI: 10.1029/2008GL034300.

4. Jenouvrier A., Daumont L., Regali-Jarlot L., Tyuterev V.G., Carleer M., Vandaele A.C., Mikhailenko S., Fally S. Fourier transform measurements of water vapor line parameters in the 4200–6600 cm⁻¹ region // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* 2007. V. 105. P. 326–355.
5. Chesnokova T.Yu., Chentsov A.V., Firsov K.M. Impact of spectroscopic information on total column water vapor retrieval in the near-infrared spectral region // *J. Appl. Remote Sens.* 2020. V. 14, N 3. P. 034510. DOI: 10.1117/1.JRS.14.034510.
6. Ponomarev Yu.N., Solodov A.A., Solodov A.M., Petrova T.M., Naumenko O.V. FTIR spectrometer with 30 m optical cell and its applications to the sensitive measurements of selective and nonselective absorption spectra // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* 2016. V. 177. P. 253–260.
7. Щербakov А.П. Применение методов теории распознавания образов для идентификации линий в колебательно-вращательных спектрах // *Оптика атмосф. и океана.* 1997. Т. 10, № 8. С. 947–958.
8. Петрова Т.М., Солодов А.А., Щербakov А.П., Дейчули В.М., Солодов А.А., Пономарев Ю.Н., Чеснокова Т.Ю. Параметры уширения линий поглощения молекулы воды давлением аргона, полученные с помощью различных моделей формы контура // *Оптика атмосф. и океана.* 2016. Т. 29, № 10. С. 821–827; Petrova T.M., Solodov A.M., Shcherbakov A.P., Deichuli V.M., Solodov A.A., Ponomarev Yu.N., Chesnokova T.Yu. Parameters of broadening of water molecule absorption lines by argon derived using different line profile models // *Atmos. Ocean. Opt.* 2017. V. 30, N 2. P. 123–128.
9. Ngo N.H., Lisak D., Tran H., Hartmann J.-M. An isolated line-shape model to go beyond the Voigt profile in spectroscopic databases and radiative transfer codes // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* 2013. V. 129. P. 89–100.
10. Tran H., Ngo N.H., Hartmann J.-M. Efficient computation of some speed-dependent isolated line profiles // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* 2013. V. 129. P. 199–203.
11. Gordon I.E., Rothman L.S., Hill C., Kochanov R.V., Tana Y., Bernath P.F., Birk M., Boudon V., Campargue A., Chance K.V., Drouin B.J., Flaud J.-M., Gamache R.R., Hodges J.T., Jacquemart D., Perevalov V.I., Perrin A., Shine K.P., Smith M.-A.H., Tenynson J., Toon G.C., Tran H., Tyuterev V.G., Barbe A., Császár A.G., Devi V.M., Furtenbacher T., Harrison J.J., Hartmann J.-M., Jolly A., Johnson T.J., Karman T., Kleiner I., Kyuberis A.A., Loos J., Lyulin O.M., Massie S.T., Mikhailenko S.N., Moazzen-Ahmadi N., Müller H.S.P., Naumenko O.V., Nikitin A.V., Polyansky O.L., Rey M., Rotger M., Sharpe S.W.,

- Sung K., Starikova E., Tashkun S.A., Vander Auwera J., Wagner G., Wilzewski J., Wcislo P., Yu S., Zak E.J. The HITRAN2016 molecular spectroscopic database // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2017. V. 203. P. 3–69. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2017.06.038.
12. Jacquinet-Husson N., Armante R., Scott N.A., Chédin A., Crépeau L., Boutammine C., Bouhdaoui A., Crevoisier C., Capelle V., Boone C., Poulet-Crovisier N., Barbe A., Benner D.C., Boudon V., Brown L.R., Buldyreva J., Campargue A., Coudert L.H., Devi V.M., Down M.J., Drouin B.J., Fayt A., Fittschen C., Flaud J.-M., Gamache R.R., Harrison J.J., Hill C., Hodnebrog Ø., Hu S.-M., Jacquemart D., Jolly A., Jiménez E., Lavrentieva N.N., Liu A.-W., Lodi L., Lyulin O.M., Massie S.T., Mikhailenko S., Müller H.S.P., Naumenko O.V., Nikitin A., Nielsen C.J., Orphal J., Perevalov V.I., Perrin A., Polovtseva E., Predoi-Cross A., Rotger M., Ruth A.A., Yu S.S., Sung K., Tashkun S.A., Tennyson J., Tyuterev V.I.G., Vander Auwera J., Voronin B.A., Makie A. The 2015 Edition of the GEISA spectroscopic database // J. Mol. Spectrosc. 2016. V. 327. P. 31–72. DOI: 10.1016/j.jms.2016.06.007.
 13. Toth R.A., Brown L.R., Miller C.E., Malathy Devi V., Chris Benner D. Line strengths of $^{12}\text{C}^{16}\text{O}_2$: 4550–7000 cm^{-1} // J. Mol. Spectrosc. 2006. V. 239, N 2. P. 221–242.
 14. Sironneau V.T., Hodges J.T. Line shapes, positions and intensities of water transitions near 1.28 μm // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2015. V. 152. P. 1–15.
 15. Lodi L., Tennyson J., Polyansky O.L. A global, high accuracy *ab initio* dipole moment surface for the electronic ground state of the water molecule // J. Chem. Phys. 2011. V. 135. P. 034113-1–10.
 16. Gribanov K., Jouzel J., Bastrov V., Bonne J.-L., Breon F.-M., Butzin M., Cattani O., Masson-Delmotte V., Rokotyan N., Werner M., Zakharov V. Developing a Western Siberia reference site for tropospheric water vapour isotopologue observations obtained by different techniques (*in situ* and remote sensing) // Atmos. Chem. Phys. 2014. V. 14. P. 5943–5957.
 17. Palm M. Theoretical background SFIT4, Sfit4 Error Analysis Workshop, 2013.
 18. Rinsland C.P., Nicholas B.J., Connor B.J., Logan J.A., Pougatchev N.S., Goldman A., Murcray F.J., Stephen T.M., Pine A.S., Zander R., Mahieu E., Demoulin P. Northern and southern hemisphere ground-based infrared spectroscopic measurements of tropospheric carbon monoxide and ethane // J. Geophys. Res. D. 1998. V. 103. P. 28197–28218.
 19. Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Leetmaa A., Reynolds B., Cheliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Jenne R., Joseph D. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // B. Am. Meteorol. Soc. 1996. V. 77. P. 437–471.
 20. URL: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/reanalysis/>.
 21. Rothman L.S., Gordon I.E., Babikov Y., Barbe A., Chris Benner D., Bernath P.F., Birk M., Bizzocchi L., Boudon V., Brown L.R., Campargue A., Chance K., Cohen E.A., Coudert L.H., Devi V.M., Drouin B.J., Fayt A., Flaud J.-M., Gamache R.R., Harrison J.J., Hartmann J.-M., Hill C., Hodges J.T., Jacquemart D., Jolly A., Lamouroux J., Le Roy R.J., Li G., Long D.A., Lyulin O.M., Mackie C.J., Massie S.T., Mikhailenko S., Müller H.S.P., Naumenko O.V., Nikitin A.V., Orphal J., Perevalov V., Perrin A., Polovtseva E.R., Richard C., Smith M.A.H., Starikova E., Sung K., Tashkun S., Tennyson J., Toon G.C., Tyuterev V.I.G., Wagner G. The HITRAN2012 molecular spectroscopic database // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2013. V. 130. P. 4–50. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2013.07.002.
 22. Jacquinet-Husson N., Crepeau L., Armante R., Boutammine C., Chédin A., Scott N.A., Crevoisier C., Capelle V., Boone C., Poulet-Crovisier N., Barbe A., Campargue A., Chris Benner D., Benilan Y., Bézard B., Boudon V., Brown L.R., Coudert L.H., Coustenis A., Dana V., Devi V.M., Fally S., Fayt A., Flaud J.-M., Goldman A., Herman M., Harris G.J., Jacquemart D., Jolly A., Kleiner I., Kleinböhl A., Kwabia-Tchana F., Lavrentieva N., Lacombe N., Li-Hong Xu, Lyulin O.M., Mandin J.-Y., Maki A., Mikhailenko S., Miller C.E., Mishina T., Moazzen-Ahmadi N., Müller H.S.P., Nikitin A., Orphal J., Perevalov V., Perrin A., Petkie D.T., Predoi-Cross A., Rinsland C.P., Remedios J.J., Rotger M., Smith M.A.H., Sung K., Tashkun S., Tennyson J., Toth R.A., Vandaele A.-C., Vander Auwera J. The 2009 edition of the GEISA spectroscopic database // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2011. V. 112, N 15. P. 2395–2445. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2011.06.004.
 23. Shillings J.L., Ball S.M., Barber M.J., Tennyson J., Jones R.L. An upper limit for water dimer absorption in the 750 nm spectral region and a revised water line list // Atmos. Chem. Phys. 2011. V. 11, N 9. P. 4273–4287. DOI: 10.5194/acp-11-4273-2011.

V.M. Deichuli, T.M. Petrova, A.M. Solodov, A.A. Solodov, T.Yu. Chesnokova, A.M. Trifonova-Yakovleva. **H₂O absorption line parameters in the 5900–6100 cm^{-1} spectral region.**

The H₂O absorption lines broadened by air pressure were recorded in the 5900–6100 cm^{-1} spectral region with the use of a Bruker IFS 125 HR spectrometer. The intensities and broadening and shift coefficients of H₂O absorption lines are retrieved for Voigt profile and modified Voigt profile which takes into account the dependence of the broadening on the speed of colliding molecules. The atmospheric transmission is calculated with use of H₂O line parameters from different versions of the HITRAN and GEISA spectroscopic databases and our new data. Model spectra are compared with atmospheric solar spectra measured with a ground-based Fourier spectrometer. It is shown that the use of our new data on H₂O absorption line parameters improves the agreement between the model and measured atmospheric spectra.