

## СПЕКТРОСКОПИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 539.354 539.194

# Анализ интенсивностей линий поглощения молекулы воды в ИК-области

В.М. Дейчули<sup>✉</sup>, Т.М. Петрова, А.М. Солодов, А.А. Солодов\*

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

Поступила в редакцию 14.04.2023 г.;  
после доработки 11.05.2023 г.;  
принята к печати 8.06.2023 г.

В спектральной области 3000–7500 см<sup>-1</sup> с помощью Фурье-спектрометра IFS 125HR зарегистрированы линии поглощения молекулы воды, уширенные давлением атмосферного воздуха. Для изолированных линий определены высокоточные значения интенсивностей линий поглощения H<sub>2</sub>O с модифицированным контуром Фойгта, учитывающего зависимость уширения от скоростей сталкивающихся молекул. Проведено сравнение с литературными данными. Полученные значения интенсивностей линий поглощения молекулы воды могут служить основой для улучшения расчетов линий поглощения в различных атмосферных приложениях.

**Ключевые слова:** молекула воды, коэффициенты уширения и сдвига, Фурье-спектроскопия, углекислый газ; water molecule, air, broadening and shifting coefficients, Fourier spectroscopy.

## Введение

Молекула воды является одной из наиболее распространенных во вселенной (находится на третьем месте после водорода и оксида углерода). Знание спектров поглощения молекулы воды с высокой точностью в широком спектральном диапазоне необходимо для решения огромного количества прикладных задач, связанных с поглощением водяным паром солнечного излучения в земной атмосфере и влиянием этого поглощения на климат планеты.

Спектр водяного пара исследуется уже многие десятилетия с помощью Фурье-спектрометров и лазерных спектрометров с затуханием излучения в резонаторе (CRDS). Подробный анализ данных о параметрах линий поглощения можно найти в работе [1]. Следует подчеркнуть, что важны значения не только положений центров линий, но и интенсивностей, коэффициентов уширения и сдвига, вызванных как собственным давлением, так и давлением буферного газа (атмосферного воздуха). Положения центров линий в спектральной области 0–10000 см<sup>-1</sup> определены с высокой точностью: на основе критического анализа опубликованных экспериментальных данных создана база высокоточных колебательно-вращательных уровней энергии моле-

кулы H<sub>2</sub>O [2, 3]. Данные по интенсивностям линий противоречивы. Имеется всего несколько работ, в которых интенсивности линий поглощения молекулы воды определены с высокой точностью. Проведены измерения с помощью Фурье-спектрометров в спектральной области 1850–4000 см<sup>-1</sup> в [4–6] и на CRDS-спектрометрах около 7280 см<sup>-1</sup> [5–7]. В целом же наблюдается различие в значениях интенсивностей в разных работах. Это можно объяснить различными чувствительностью и точностью используемой аппаратуры. Кроме того, для описания экспериментальных профилей использовались различные модели формы контура линий, от относительно простого традиционного контура Фойгта до профиля Артмана–Трана, который позволяет учитывать тонкие межмолекулярные эффекты и восстанавливать спектры на уровне экспериментальной погрешности. Для массовых измерений интенсивностей линий в инфракрасном диапазоне погрешность составляет 3–20%; значения, полученные разными авторами, могут сильно отличаться друг от друга.

Целью данной работы является определение высокоточных значений интенсивностей линий поглощения молекулы H<sub>2</sub>O и сравнение с данными, опубликованными в [1–7]. Так как на Фурье-спектрометре можно одновременно регистрировать спектры поглощения в широком спектральном интервале, то в настоящей работе мы сравним параметры линий поглощения молекулы воды, полученные из одних тех же спектров (в одинаковых экспериментальных условиях) в разных диапазонах.

\* Владимир Михайлович Дейчули (dvm91@yandex.ru); Татьяна Михайловна Петрова (tanja@iao.ru); Александр Михайлович Солодов (solodov@iao.ru); Александр Александрович Солодов (asolodov@iao.ru).

## Эксперимент

Измерения спектров поглощения молекулы воды в спектральном диапазоне  $3000\text{--}7500\text{ см}^{-1}$ , уширенных давлением атмосферного воздуха, были выполнены с помощью Фурье-спектрометра Bruker IFS 125HR [8]. В качестве излучателя в спектрометре использовался вольфрамовый источник света; регистрация излучения осуществлялась с помощью InSb-детектора, охлаждаемого жидким азотом. Была использована многоходовая газовая кювета с базой 30 м. Чтобы отношение сигнал/шум не менялось для исследуемых линий поглощения, длина пути варьировалась от 27869 до 72441 см. Давление паров воды определялось с помощью датчика MKS Baratron с паспортной погрешностью 0,25%; давление смесей  $\text{H}_2\text{O}$ –атмосферный воздух измерялось датчиком давления DVR5. Давление буферного газа менялось от 0,115 до 0,592 атм. Все измерения проводились при температуре  $\sim 301\text{ К}$  со спектральным разрешением  $0,008\text{--}0,01\text{ см}^{-1}$ . Температура измерялась тремя датчиками, расположенными на равном расстоянии по длине оптической кюветы (погрешность 0,2 К). Для улучшения отношения сигнал/шум при измерении спектров поглощения для каждого давления буферного газа проводилось 1200 сканирований. Для наиболее сильных линий это отношение составляло 6000. Все экспериментальные условия приведены в табл. 1.

Таблица 1

Условия регистрации спектров поглощения молекулы воды, уширенных давлением атмосферного воздуха

| Номер спектра | Спектральное разрешение, $\text{см}^{-1}$ | Давление $\text{H}_2\text{O}$ , атм | Давление воздуха, атм | Длина пути, см | Температура, К |
|---------------|-------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|----------------|----------------|
| 1             | 0,008                                     | 0,0147                              | 0,115                 | 27869          | 301,4          |
| 2             | 0,010                                     | 0,0149                              | 0,226                 | 39087          | 301,3          |
| 3             | 0,010                                     | 0,0153                              | 0,339                 | 50205          | 301,4          |
| 4             | 0,010                                     | 0,0154                              | 0,455                 | 61323          | 301,5          |
| 5             | 0,010                                     | 0,0152                              | 0,592                 | 72441          | 301,2          |

Регистрация спектров поглощения молекулы воды при пяти значениях давления атмосферного воздуха позволила применить процедуру одновременной обработки спектров с помощью нелинейного метода наименьших квадратов [9]. Для определения параметров линий использовался квадратичный контур Фойгта, учитывающий зависимость уширения и сдвига от скоростей сталкивающихся молекул (qSDV). Достаточно простой алгоритм расчета для qSDV-профиля приведен в работе [10]. Определялись следующие параметры спектральных линий, индуцированных давлением атмосферного воздуха: положение центра, интенсивность, коэффициенты самоуширения, коэффициенты уширения, сдвига и сужения. Так как давление паров воды во всех образцах менялось незначительно, то коэффициенты сдвига, вызванного собственным давлением, приравнялись нулю.

На рис. 1 показан пример аппроксимации одной из исследованных линий поглощения молекулы воды двумя моделями формы контура — традиционный контур Фойгта (V) и контур qSDV. Результаты аппроксимации с помощью V-контура приведены только для наглядности. Ниже проанализированы интенсивности линий поглощения молекулы воды, полученные с помощью qSDV-контура. Нижняя панель показывает разность между экспериментальным и рассчитанным спектрами для этих профилей. Видно, что спектры, рассчитанные с помощью контура qSDV, очень хорошо совпадают с экспериментальными. При использовании V-контура разность между расчетом и экспериментом имеет характерную W-образную форму, что особенно проявляется при низких давлениях буферного газа.

Погрешности параметров линий определяются погрешностями измерения давления, температуры, оптической длины и погрешностью, возникающей при подгонке контура спектральной линии. Детальный анализ погрешностей определения параметров линий поглощения, полученных с помощью Фурье-спектрометров, проводился во многих работах (например, в [4]), поэтому здесь кратко рассмотрим основные вклады в погрешность определения интенсивности.

Поскольку длина пути измерялась достаточно точно, то ее вклад в общую погрешность невелик и равен  $\sim 0,2\%$ . Вклад изменения температуры равен  $\sim 0,5\%$ . Влияние аппаратной функции также минимизировалось. Для этого спектральное разрешение подбиралось таким образом, чтобы оно было меньше полуширины зарегистрированных линий поглощения, и спектр поглощения, водяного пара при нулевом давлении буферного газа не регистрировался. В этом случае вклад аппаратной функции в погрешность не превышает 0,5%. Парциальное давление  $\text{H}_2\text{O}$  измеряли с помощью манометра с паспортной погрешностью 0,25%, а затем его значение контролировалось спектроскопически по изменениям интенсивностей спектральных линий. Во время измерений давление не менялось, и можно считать, что погрешность, обусловленная изменением давления паров воды, не превышала 0,5%.

Таким образом, к основным источникам ошибок определения интенсивности спектральных линий можно отнести статистические ошибки, получаемые при подгонке параметров спектральных линий. Для анализа мы использовали зарегистрированные с высоким отношением сигнал/шум изолированные линии поглощения  $\text{H}_2\text{O}$  либо линии, для которых легко учитывались все близкорасположенные. Хотя в зарегистрированных спектрах уверенно регистрировались линии поглощения молекулы воды с интенсивностью  $1\text{--}10^{-26}\text{ см}^2/\text{мол.}$ , рассматривались линии с интенсивностями до  $5\text{--}10^{-25}\text{ см}^2/\text{мол.}$ , поскольку для этих линий отношение сигнал/шум превышало 1000. Это позволило значительно уменьшить статистические ошибки подгонки. Можно сделать

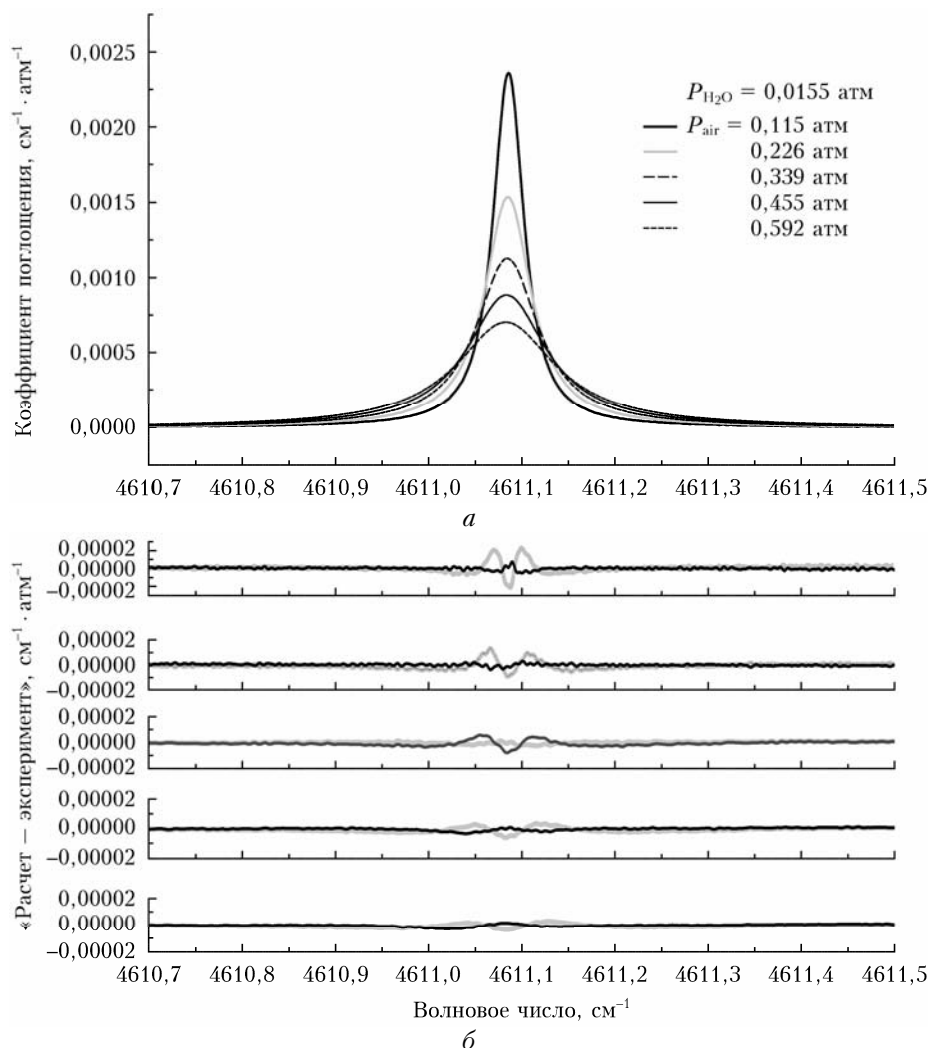


Рис. 1. Пример экспериментального спектра (линия поглощения  $\text{H}_2\text{O}$   $[2\ 1\ 2] \rightarrow [1\ 0\ 1]\ 3\nu_2$  с центром 4611,083  $\text{см}^{-1}$ ) (а); разность между экспериментальным и рассчитанным спектрами при аппроксимации qSDV- (черная кривая) и V-контурными (серая кривая) (б) (см. цветной рисунок на сайте <http://iao.ru/ru/content/vol.36-2023/iss.08>)

вывод, что для линий поглощения  $\text{H}_2\text{O}$ , рассматриваемых в данной работе, общая погрешность определения интенсивностей не превышала 1,5–2%.

## Результаты и обсуждение

В спектральной области 3000–6800  $\text{см}^{-1}$  были определены высокоточные значения интенсивностей для 300 линий поглощения молекулы  $\text{H}_2\text{O}$ , принадлежащие разным колебательно-вращательным полосам.

Для низкочастотной области 1850–4000  $\text{см}^{-1}$  в спектроскопическую базу данных HITRAN [1] занесены значения интенсивностей из экспериментальной работы [4], в которой с помощью Фурье-спектрометра высокого разрешения зарегистрированы спектры поглощения молекулы воды при изменении давления атмосферного воздуха. Для определения параметров линий использовались современные модели формы контура. Для сравнения

полученных нами значений интенсивности и результатов других авторов использовались два параметра: среднее значение отношений интенсивностей  $\langle S_{\text{данная работа}}/S_x \rangle$  ( $S_x$  – значение интенсивности из литературных данных) и среднее квадратичное отклонение

$$\sigma_{\text{данная работа} - x} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{S_{\text{данная работа}_i}}{S_{x_i}} - \left\langle \frac{S_{\text{данная работа}}}{S_x} \right\rangle \right)^2},$$

где  $n$  – количество значений интенсивностей в рассматриваемом наборе.

Сравнение значений интенсивностей изолированных линий поглощения  $\text{H}_2\text{O}$  в области 3000–3200  $\text{см}^{-1}$ , полученных нами и авторами [4], приведено на рис. 2. Наблюдается хорошее согласие: отличие значений интенсивностей, полученных в данной работе, от значений из работы [4] не превышает 2% и среднее  $\langle S_{\text{данная работа}}/S_{[4]} \rangle = 0,998$ ; среднее квадратичное отклонение равно 0,011.

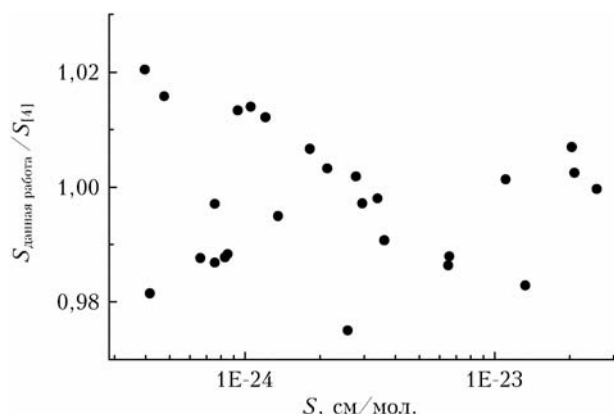


Рис. 2. Сравнение интенсивностей линий поглощения молекулы воды, полученных в [4] и в данной работе

В спектральной области около  $7280\text{ см}^{-1}$  в работе [7] с помощью CRDS-спектрометра получены высокоточные значения интенсивностей линий поглощения  $\text{H}_2\text{O}$ . На рис. 3 наши данные сравниваются со значениями интенсивностей, представленными в базе данных HITRAN [1] и в работе [7]. Проанализированы 23 линии поглощения молекулы воды, принадлежащие двум колебательно-вращательным полосам  $\nu_1 + \nu_3$  и  $2\nu_3$ . Получены следующие соотношения:  $\langle S_{\text{данная работа}}/S_{[1]} \rangle = 1,002$  и  $\langle S_{\text{данная работа}}/S_{[7]} \rangle = 1,002$ . Хотя в среднем значения не отличаются, среднеквадратичное отклонение для [1] больше:  $\sigma_{\text{данная работа} - [7]} = 0,010$ , а  $\sigma_{\text{данная работа} - [1]} = 0,026$ .

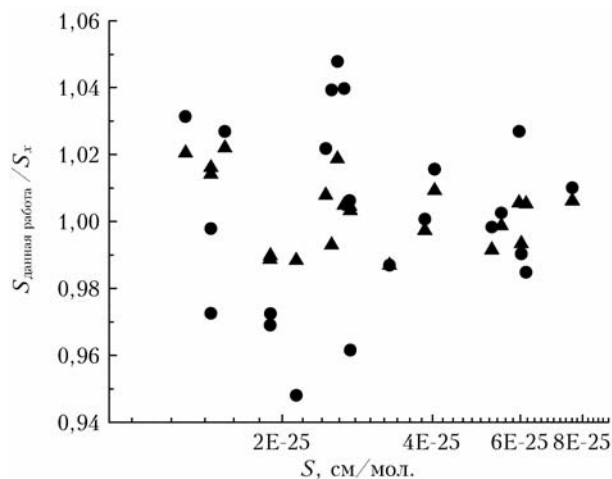


Рис. 3. Сравнение значений интенсивностей линий поглощения молекулы воды, полученных в данной работе и работах [1] (●) и [7] (▲)

Таким образом, сравнение наших данных с высокоточными значениями интенсивностей линий поглощения молекулы воды из других работ показывает их отличное согласие. Следует подчеркнуть, что измерения в [4, 7] сделаны на разных экспериментальных установках, основанных на разных физических принципах, и в разных спектральных диапазонах.

В спектральной области  $4800\text{--}6000\text{ см}^{-1}$  были выбраны 40 линий колебательно-вращательной по-

лосы поглощения  $\text{H}_2\text{O}$   $\nu_2 + \nu_3$ , интенсивности которых сравнивались с экспериментальными данными [11, 12] и базой данных HITRAN [1] (рис. 4). В публикации [11] параметры линий получены из анализа спектров поглощения молекулы воды, зарегистрированных с помощью Фурье-спектрометра; в [12] представлены результаты как Фурье-спектроскопии, так измерений на CRDS-спектрометрах. Наилучшее согласие наблюдается для наших данных и значений из [1], однако среднее отношение  $\langle S_{\text{данная работа}}/S_{[1]} \rangle$  равняется уже не 1, а 1,015.

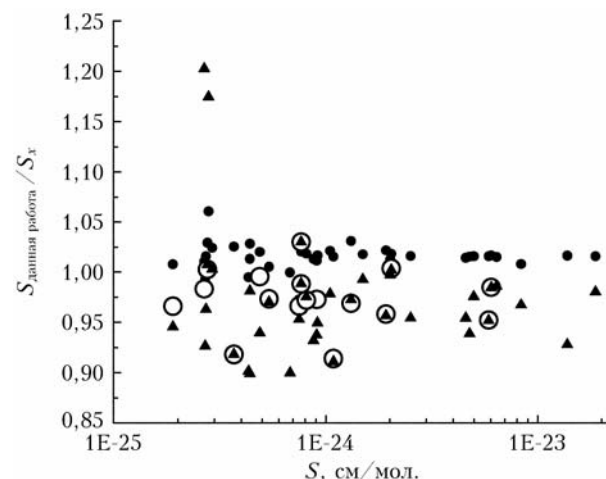


Рис. 4. Сравнение интенсивностей линий поглощения  $\text{H}_2\text{O}$  в области  $4800\text{--}6000\text{ см}^{-1}$ , представленных в данной работе и в работах [1] (●), [11] (○) и [12] (▲)

В табл. 2 представлена статистика сравнения значений интенсивностей рассмотренных линий поглощения молекулы воды. Отличие значений интенсивностей, полученных в [11, 12], от наших результатов уже больше, в среднем отношение интенсивностей равно  $\sim 0,97$ . Наблюдаются большие различия для данных из работ [11, 12], которые можно объяснить тем, что в цитируемых работах для определения параметров линий поглощения использовался контур Фойгта. Во многих работах было показано, что при аппроксимации спектральных линий, зарегистрированных с высоким отношением сигнал/шум, этим контуром полученные параметры не позволяют восстанавливать спектры с экспериментальной погрешностью (см., например, [13, 14]).

Таблица 2

Сравнение интенсивностей 40 линий поглощения  $\text{H}_2\text{O}$  в спектральной области  $4800\text{--}6000\text{ см}^{-1}$

| Параметр                                       | [1]   | [12]  | [11]  |
|------------------------------------------------|-------|-------|-------|
| Количество линий                               | 40    | 40    | 19    |
| $\langle S_{\text{данная работа}}/S_x \rangle$ | 1,015 | 0,973 | 0,972 |
| $\sigma_{\text{данная работа} - x}$            | 0,013 | 0,053 | 0,032 |

При анализе интенсивностей линий поглощения молекулы воды в [1] были обнаружены значительные отклонения между расчетными и экспериментальными значениями для переходов в полосах

$3\nu_2$  и  $4\nu_2$  (большое изменение квантового числа изгибного колебания). Однако в базу данных HITRAN экспериментальные данные не были занесены, только расчетные значения. В наших работах [15, 16] подобный эффект наблюдался для линий колебательно-вращательных полос  $4\nu_2$ ,  $\nu_1 + 4\nu_2$  и  $4\nu_2 + \nu_3$ ; разница в значениях интенсивностей для некоторых линий может достигать десятков процентов. В исследуемую спектральную область попадают линии поглощения  $\text{H}_2\text{O}$ , принадлежащие колебательно-вращательным полосам  $3\nu_2$  и  $4\nu_2$ . В спектральной области  $4500\text{--}4700\text{ см}^{-1}$  были определены интенсивности около 100 линий поглощения полосы  $3\nu_2$ . Однако больших различий между значениями из [1] и нашими данными не было отмечено (рис. 5): среднее отношение  $\langle S_{\text{данная работа}}/S_{[1]} \rangle = 0,996$ ; среднеквадратичное отклонение — 0,009.

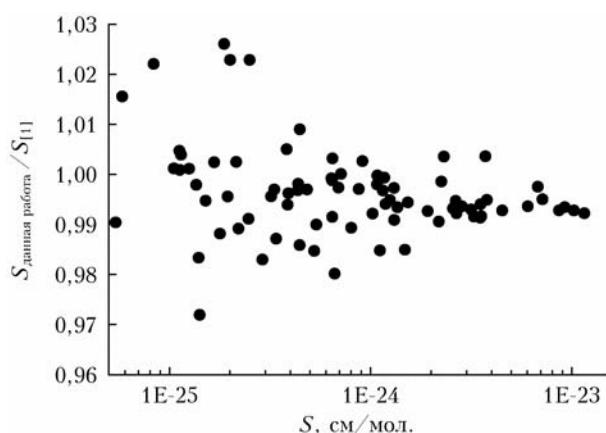


Рис. 5. Сравнение значений интенсивностей линий поглощения молекулы воды, принадлежащих полосе  $3\nu_2$

Для линий поглощения молекулы воды, принадлежащих полосе  $4\nu_2$ , картина иная. В спектральной области  $5946\text{--}6405\text{ см}^{-1}$  были определены интенсивности 25 изолированных линий поглощения  $\text{H}_2\text{O}$  этой полосы. По сравнению с рассмотренными выше полосами наблюдаются значительные отличия полученных нами значений интенсивностей от данных из [1] (рис. 6): среднее отношение

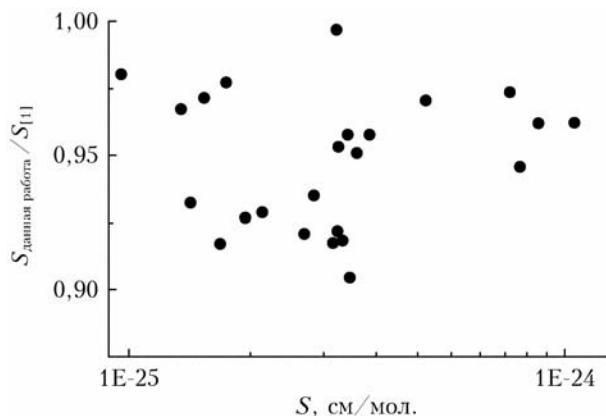


Рис. 6. Сравнение значений интенсивностей линий поглощения молекулы воды, принадлежащих полосе  $4\nu_2$

$\langle S_{\text{данная работа}}/S_{[1]} \rangle = 0,947$ , а среднеквадратичное отклонение — 0,020.

Такие отличия наших значений интенсивностей от значений из [1] указывают на важность учета экспериментальных данных и включения их в базы данных, которые используются для моделирования и анализа спектральной информации.

## Заключение

Проведенный анализ показал, что с помощью Фурье-спектроскопии высокого разрешения можно определять интенсивности линий поглощения молекулы воды с высокой точностью (1,5–2%) в широком спектральном диапазоне. Доказательством этого служит сравнение с работами [4, 7]. Отличие значений интенсивностей, полученных в данной работе, от значений из работ [4, 7], авторы которых использовали современное оборудование для регистрации спектров поглощения и современные методы анализа, не превысило 2%.

Особый интерес представляет результат, связанный с колебательно-вращательными полосами  $3\nu_2$  и  $4\nu_2$ , для которых предполагалось значительное отличие интенсивностей от значений, представленных в спектроскопической базе данных HITRAN [1]. Определено, что для полосы  $3\nu_2$  разница между значениями интенсивностей, полученными в данной работе и представленными в [1], в среднем не превышает 0,996, а для полосы  $4\nu_2$  она составляет 0,947. Среднеквадратичные отклонения для этих колебательно-вращательных полос также отличаются: для  $4\nu_2$  — 0,020, для  $3\nu_2$  — 0,009.

Полученные значения интенсивностей линий поглощения молекулы воды могут использоваться как основа для улучшения расчетов линий поглощения и в различных атмосферных приложениях, в которых требуются высокоточные значения интенсивностей.

**Финансирование.** Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ (грант № 22-77-00062).

## Список литературы

1. Gordon I.E., Rothman L.S., Hargreaves R.J., Hashemi R., Karlovets E.V., Skinner F.M., Conway E.K., Hill C., Kochanov R.V., Tan Y., Wcislo P., Finenko A.A., Nelson K., Bernath P.F., Birk M., Boudon V., Campargue A., Chance K.V., Coustenis A., Drouin B.J., Flaud J.-M., Gamache R.R., Hodges J.T., Jacquemart D., Mlawer E.J., Nikitin A.V., Perevalov V.I., Rotger M., Tennyson J., Toon G.C., Tran H., Tyuterev V.G., Adkins E.M., Baker A., Barbe A., Cané E., Császár A.G., Dudaryonok A., Egorov O., Fleischer A.J., Fleurbaey H., Foltynowicz A., Furtenbacher T., Harrison J.J., Hartmann J.-M., Horneman V.-M., Huang X., Karman T., Karns J., Kassi S., Kleiner I.M., Kofman V.R., Kwabia-Tchana F.M., Lavrentieva N.N., Lee T.J., Long D.A., Lukashchuk A.A., Lyulin O.M., Makhnev V.Yu., Matt W., Massie S.T., Melosso M., Mikhailenko S.N., Mondelain D., Müller H.S.P., Naumenko O.V., Perrin A., Polyansky P.L., Raddaoui E.,

- Raston P.L., Reed Z.D., Rey M., Richard C., Tóbiás R., Sadiek I., Schwenke D.W., Starikova E., Sung K., Tamassia F., Tashkun S.A., Auwera Vander J., Vasilenko I.A., Vidasin A.A., Villanueva G.L., Vispoel B., Wagner G., Yachmenev A., Yurchenko S.N.* The HITRAN2020 molecular spectroscopic database // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* 2022. V. 277. P. 107949.
2. *Tennyson J., Bernath P.F., Brown L.R.* IUPAC critical evaluation of the rotational-vibrational spectra of water vapor, Part III: Energy levels and transition wavenumbers for  $\text{H}_2^{16}\text{O}$  // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* 2013. V. 117. P. 117–129.
3. *Furtenbacher T., Tóbiás R., Tennyson J., Polyansky O.L., Kyuberis A.A., Ovsyannikov R.I., Zobov N.F., Császár A.G.* The W2020 database of validated rovibrational experimental transitions and empirical energy levels of water isotopologues. II.  $\text{H}_2^{17}\text{O}$  and  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  with an update to  $\text{H}_2^{16}\text{O}$  // *J. Phys. Chem. Ref. Data.* 2020. V. 49. P. 43103.
4. *Loos J., Birk M., Wagner G.* Measurement of positions, intensities and self-broadening line shape parameters of  $\text{H}_2\text{O}$  lines in the spectral ranges 1850–2280 and 2390–4000  $\text{cm}^{-1}$  // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* 2017. V. 203. P. 119–132.
5. *Lisak D., Hodges J.T.* Low-uncertainty  $\text{H}_2\text{O}$  line intensities for the 930-nm region // *J. Mol. Spectrosc.* 2008. V. 249. P. 6–13.
6. *Lisak D., Havey D., Hodges J.T.* Spectroscopic line parameters of water vapor for rotation-vibration transitions near 7180  $\text{cm}^{-1}$  // *Phys. Rev. A.* 2009. V. 79. P. 52507.
7. *Sironneau V.T., Hodges J.T.* Line shapes, positions and intensities of water transitions near 1.28  $\mu\text{m}$  // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* 2015. V. 152. P. 1–15.
8. *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.
9. *Щербаков 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.
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. *Mikhailenko S.N., Kassi S., Mondelain D., Gamache R.R., Campargue A.* A spectroscopic database for water vapor between 5850 and 8340  $\text{cm}^{-1}$  // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* 2016. V. 179. P. 198–216.
12. *Toth R.A.* Linelist of water vapor parameters from 500 to 8000  $\text{cm}^{-1}$ ; 2009. URL: <https://mark4sun.jpl.nasa.gov/h2o.html> (last access: 17.02.2023).
13. *Tennyson J., Bernath P.F., Campargue A., Császár A.G., Daumont L., Gamache R.R., Hodges J.T., Lisak D., Naumenko O.V., Rothman L.S., Tran H., Zobov N.F., Buldyreva J., Boone C.D., De Vizia M.D., Gianfrani L., Hartmann J.-M., McPheat R., Weidmann D., Murray J., Ngo N.H., Polyansky O.L.* Recommended isolated-line profile for representing high-resolution spectroscopic transitions (IUPAC Technical Report) // *Pure Appl. Chem.* 2014. V. 86. P. 1931–1943.
14. *Дейчули В.М., Петрова Т.М., Пономарев Ю.Н., Солодов А.М., Солодов А.А.* Коэффициенты уширения и сдвига линий поглощения молекулы воды в области 8650–9020  $\text{cm}^{-1}$  // *Оптика атмосф. и океана.* 2019. Т. 32, № 5. С. 358–364; *Deichuli V.M., Petrova T.M., Ponomarev Yu.N., Solodov A.M., Solodov A.A.* Broadening and shift coefficients of  $\text{H}_2\text{O}$  absorption lines in the 8650–9020  $\text{cm}^{-1}$  spectral region // *Atmos. Ocean. Opt.* 2019. V. 32, N 5. P. 499–505.
15. *Petrova T., Deichuli V., Solodov A., Chesnokova T., Trifonova-Yakovleva A.*  $\text{H}_2\text{O}$  absorption line parameters in the 5900–6100  $\text{cm}^{-1}$  spectral region // 27th Colloquium on High-Resolution Molecular Spectroscopy 2021. Cologne, 2021. P. A40.
16. *Solodov A.M., Petrova T.M., Solodov A.A., Deichuli V.M., Naumenko O.V.* FT spectroscopy of water vapor in the 0.9  $\mu\text{m}$  transparency window // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* 2022. V. 293. P. 108389.

**V.M. Deichuli, T.M. Petrova, A.M. Solodov, A.A. Solodov. Analysis of water molecule absorption line intensities in the IR spectral region.**

The  $\text{H}_2\text{O}$  absorption lines broadened by the air pressure were recorded using IFS 125HR Fourier spectrometer in the spectral region 3000–7500  $\text{cm}^{-1}$ . The  $\text{H}_2\text{O}$  absorption line intensities are determined for the modified Voigt profile which takes into account the dependence of the broadening on the speed of colliding molecules. The comparison with literature data is carried out. The intensities of the  $\text{H}_2\text{O}$  absorption lines obtained in this work can serve both as a basis for improving the calculations of absorption lines and for various atmospheric applications that require the high precision intensity values.