

Моделирование атмосферного радиационного переноса в задачах определения общего содержания водяного пара с различными спектроскопическими банками по линиям поглощения H_2O

Т.Ю. Чеснокова¹, А.В. Ченцов¹, К.М. Фирсов^{2*}

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

² *Волгоградский государственный университет
400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 100*

Поступила в редакцию 18.09.2015 г.

Приводятся результаты моделирования атмосферных спектров поглощения солнечного излучения в спектральных интервалах, в которых возможно измерение содержания H_2O в атмосфере. Сделано сравнение с измеренными спектрами пропускания атмосферы солнечного излучения, рассчитано общее содержание водяного пара в вертикальном столбе атмосферы из измеренных атмосферных спектров с использованием различных спектроскопических банков данных по линиям поглощения H_2O для различных метеорологических условий и зенитных углов Солнца.

Ключевые слова: атмосферный радиационный перенос, содержание водяного пара, спектроскопические банки данных; atmospheric radiative transfer, water vapor content, spectroscopic databanks.

Введение

Водяной пар является важным компонентом в формировании погоды и климата Земли. Согласно отчету Международной комиссии по изменениям климата IPCC [1] наблюдающееся повышение температуры поверхности Земли приводит к увеличению количества атмосферного водяного пара. На основании изменений температуры на поверхности моря в XX в. сделано предположение о том, что содержание водяного пара в атмосфере над океаном возросло приблизительно на 5%, что повышает риск возникновения сильных осадков и наводнений. Водяной пар является одним из наиболее изменчивых компонентов атмосферы. Его содержание у земной поверхности варьирует от 0,00001 до 5% в зависимости от географического положения и сезона [2].

Регулярные наблюдения за водяным паром давно уже вошли в практику метеорологических наблюдений, а в настоящее время для этих целей все шире используются данные дистанционного зондирования со спутников (MODIS [3], AIRS [4] и др.). Развиваются также оптические системы наземного базирования для определения общего содержания (ОС) водяного пара и концентрации малых газовых компонентов в атмосфере. К таким системам

можно отнести сеть фотометров AERONET [5], наземные Фурье-спектрометры, объединенные в сети NDACC [6] и TCCON [7]. Сети NDACC и TCCON, а также локальные измерения [8] с высоким разрешением регистрируют солнечное излучение и позволяют с хорошей точностью определять общее содержание водяного пара, что может быть использовано для валидации спутниковых данных. В последнее время большее внимание уделяется разработке Фурье-спектрометров спутникового базирования, в частности в России создаются приборы ИКФС, регистрирующие ИК-излучение с высоким разрешением. Для эффективной обработки результатов измерений таких приборов необходима точная информация о параметрах линий поглощения атмосферных газов. В работах [9, 10] отмечалось, что при использовании спектроскопических приборов высокого разрешения разброс в оценках высотных профилей содержания водяного пара может достигать 10–30% при использовании различных спектроскопических баз данных и разных спектральных интервалов. В [11–13] показано, что неопределенность в линиях поглощения H_2O в спектроскопических базах может вносить значимую погрешность и в определение ОС других малых газовых составляющих атмосферы.

Цели данной работы заключаются в исследовании влияния различий в современных спектроскопических банках данных на результаты моделирования атмосферного радиационного переноса и определения содержания водяного пара в атмосфере,

* Татьяна Юрьевна Чеснокова (ches@iao.ru); Алексей Владимирович Ченцов (chentsov_alexey@mail.ru); Константин Михайлович Фирсов (fkm.volsu@mail.ru).

а также в выявлении перспективных спектральных диапазонов, наиболее пригодных для определения ОС водяного пара.

Спектроскопические банки данных по линиям поглощения H₂O

В атмосферных расчетах наиболее часто используются спектроскопические базы HITRAN [<https://www.cfa.harvard.edu/hitrان/>] и GEISA [<http://www.pole-ether.fr>], которые содержат параметры линий поглощения основных атмосферных газов и являются компиляцией данных, полученных из разных литературных источников. Базы данных регулярно обновляются по мере поступления новых данных по линиям поглощения, увеличивается число линий поглощения.

База данных HITRAN (High-resolution TRANsmission) была создана в геофизической лаборатории Военно-воздушных сил США (AFGL). Первая версия HITRAN вышла в 1973 г. С тех пор она стала международным стандартом фундаментальных спектроскопических параметров. В 2008 г. база данных включала информацию о 69201 линии молекулы H₂O [14]. Сейчас последней версией этого атласа является HITRAN-2012 [15], которая содержит информацию о 224515 спектральных линиях H₂O. В новую версию были добавлены многочисленные слабые линии H₂O из *ab initio* расчетов [16, 17].

База данных GEISA (Gestion et Etude des Informations Spectroscopiques Atmospheriques) была создана в 1974 г. группой ARA (Atmospheric Radiation Analysis) в лаборатории LMD во Франции (Laboratoire de Meteorologie Dynamique du CNRS) для задач, связанных с исследованием атмосферы Земли и других планет. Последней версией является GEISA-2011 [18].

В настоящее время имеются теоретические расчеты спектроскопических параметров линий поглощения H₂O, что дало возможность предсказать многочисленные слабые линии водяного пара, которые невозможно определить экспериментально, например расчетный банк данных Partridge, Schwenke PS [19], атлас линий BT2 [20]. Банк линий поглощения водяного пара BT2 был рассчитан с использованием вариационных расчетов. Он содержит более 500 млн линий в диапазоне до 30000 см⁻¹ и частично входит в базы данных спектральных линий GEISA-2011 и HITRAN-2012.

Банк данных линий H₂O Vx1 [21–23] был получен из измерений спектров водяного пара на Фурье-спектрометре с высоким спектральным разрешением в диапазоне 4200–6600 см⁻¹. Были определены центры и интенсивности линий H₂¹⁶O, H₂¹⁷O, H₂¹⁸O и HDO. Для части линий были также получены и коэффициенты самоуширения, уширения воздухом и сдвига. Было определено 10400 линий с интенсивностями от 10⁻²⁹ до 10⁻¹⁹ см²/молек.

Использующийся в атмосферных расчетах банк данных UCL08 [24] содержит линии поглощения H₂O в диапазоне 750–20000 см⁻¹ при температуре 296 К и является компиляцией параметров

линий из HITRAN-2008, экспериментальных данных Vx1 [21–23] и теоретических расчетов BT2 [20]. В HITRAN отсутствуют известные из *ab initio* расчетов многочисленные слабые линии, вклад которых в атмосферное пропускание может стать весомым на протяженных трассах [25]. Целью создания банка данных UCL08 являлось заполнение этих пробелов, имеющих место в HITRAN-2008. При составлении банка UCL08 отдавалось предпочтение новым экспериментальным данным линий поглощения H₂O [21–23, 26, 27]. Те линии, которые отсутствовали в этих экспериментальных данных, были взяты из базы HITRAN-2008. И наконец, в UCL08 использовались теоретические расчеты BT2 для многочисленных слабых линий, не представленных ни в экспериментальных данных, ни в базе данных HITRAN-2008. Параметры уширения были взяты из базы данных HITRAN-2008 при их наличии. В противном случае ширина линии оценивалась с помощью метода, основанного на подгонке к линиям, имеющим те же квантовые числа [28].

Влияние различия в спектроскопических банках линий поглощения H₂O на моделирование атмосферного пропускания в ближнем ИК-диапазоне

Моделирование атмосферного пропускания было выполнено в диапазоне 4000–7000 см⁻¹ со спектральным разрешением 0,02 см⁻¹ для метеомодели лета средних широт на наклонных трассах. Учитывались основные поглощающие атмосферные газы CH₄, H₂O, CO₂, N₂O, CO, O₃, O₂. Содержание CO₂ составляло 380 ppm, H₂O — 3 г/см², O₃ — 336 DU. Высотные профили температуры, давления и концентрации остальных атмосферных газов были взяты из метеомоделей [29]. Были сделаны расчеты с параметрами линий H₂O из HITRAN-2008, HITRAN-2012, GEISA-2011 и UCL08, при этом параметры линий остальных газов взяты из HITRAN-2008. Результаты моделирования атмосферного пропускания на наклонных трассах представлены на рис. 1.

Сравнение пропускания, вычисленного с использованием различных банков параметров линий поглощения H₂O, показало значимые различия в результатах моделирования пропускания (до 0,4 между данными с HITRAN-2008, GEISA-2011 и HITRAN-2012). Эти различия имеют место для пропускания при солнечном зенитном угле (SZA) как 70, так и 30°. Особенно заметна разница в полосах поглощения H₂O с ненасыщенным пропусканием, которые могут быть использованы для определения содержания H₂O в атмосфере, что может привести к достаточно большим расхождениям в результатах восстановления содержания H₂O из атмосферных солнечных спектров. Результаты моделирования, полученные с использованием банка данных UCL08, близки к результатам

HITRAN-2008 и HITRAN-2012 в диапазоне 4000–6400 см^{-1} за исключением нескольких спектральных линий. Выше 6400 см^{-1} начинает проявляться различие.

Для оценки спектроскопических данных по параметрам линий поглощения H_2O в реальных атмосферных условиях было выполнено сравнение модельных спектров с атмосферными спектрами, измеренными наземным ИК-Фурье-спектрометром Bruker IFS 125M на Уральской атмосферной станции в Коуровке [30]. Высотные профили темпера-

туры, давления и концентрации атмосферных газов были взяты из метеомоделей для г. Екатеринбурга [31], которые были дополнены измеренными значениями температуры, давления и влажности у поверхности в момент измерений в районе Коуровки. Результаты сравнения модельных и измеренных спектров приведены на рис. 2 и 3 для спектральных диапазонов с ненасыщенным поглощением, где наблюдаются значимые расхождения в результатах моделирования при использовании различных данных по линиям поглощения H_2O .

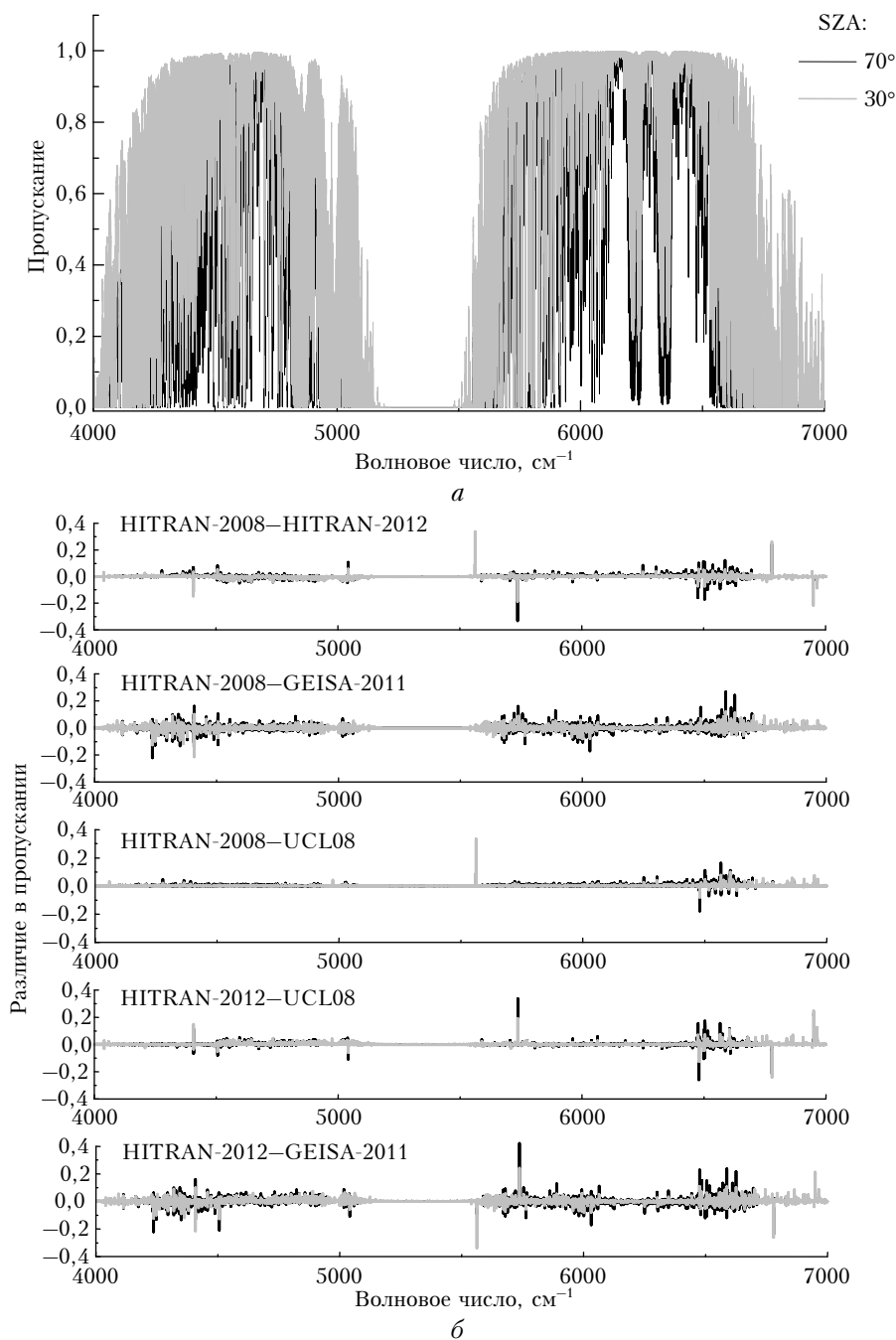


Рис. 1. Атмосферное пропускание на наклонных трассах ($\text{SZA} = 30^\circ$ – график светло-серого цвета, 70° – график черного цвета) (а); различие в атмосферном пропускании, вычисленном с использованием различных спектроскопических банков данных по линиям поглощения H_2O , на наклонных трассах 30° и 70° (б)

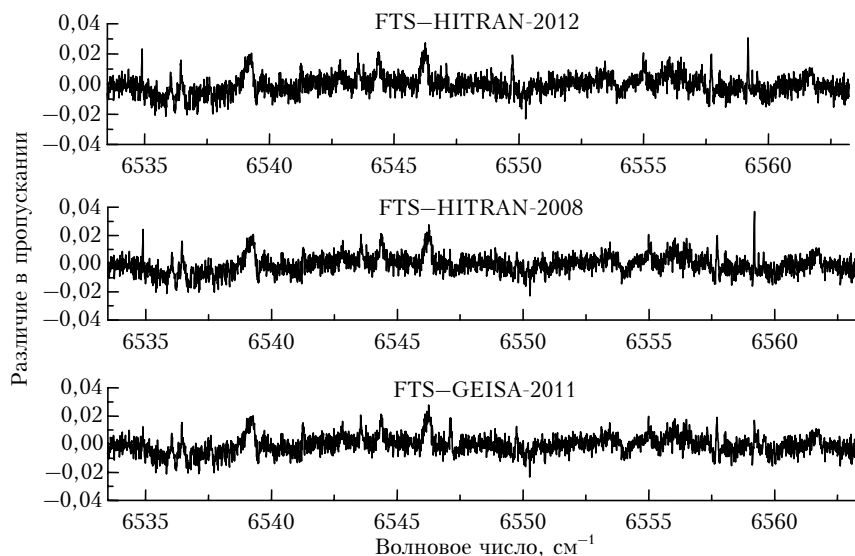


Рис. 2. Различия между измеренным атмосферным спектром и спектрами, вычисленными с параметрами линий H_2O из баз данных HITRAN-2008, HITRAN-2012 и GEISA-2011 (3.03.2013 г., зенитный угол Солнца $SZA = 53^\circ$)

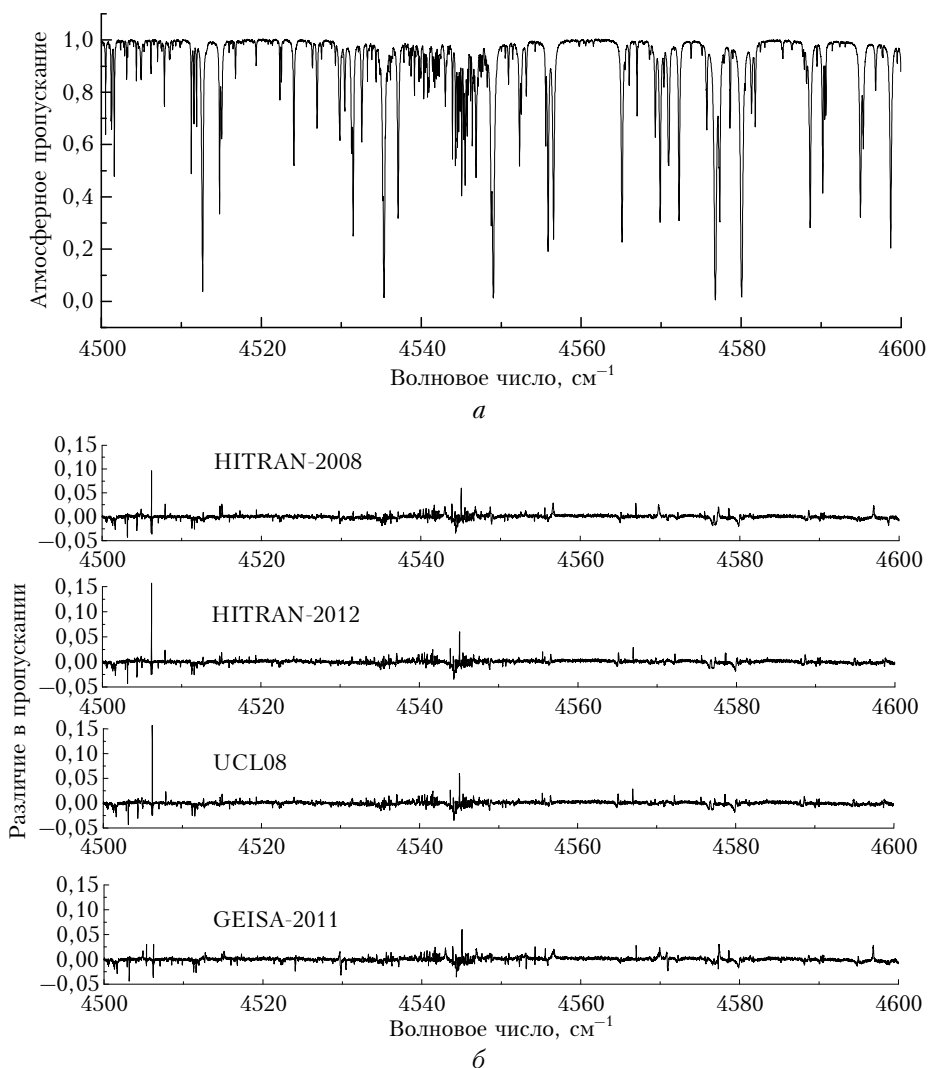


Рис. 3. Атмосферный спектр, измеренный Фурье-спектрометром (Коуровка, 07.07.2013 г., зенитный угол Солнца $SZA = 35,8^\circ$) (а); различия между измеренным атмосферным спектром и спектрами, вычисленными с параметрами линий H_2O из баз данных HITRAN-2008, HITRAN-2012, GEISA-2011 и UCL08 (б)

Как видно из рис. 2, наилучшее согласие между измеренными и модельными спектрами в показанном спектральном диапазоне наблюдается для данных GEISA-2011 (вблизи 6559 и 6535 см⁻¹). Результаты моделирования с UCL08 в этом диапазоне близки к данным моделирования с HITRAN-2008, поэтому на рис. 2 результаты с UCL08 не приводятся. В диапазоне 4500–4600 см⁻¹ также имеются участки, где GEISA-2011 лучше согласуется с измерениями (рис. 3). Наблюдаются отдельные интервалы, где HITRAN-2012 хуже согласуется с измерениями по сравнению с HITRAN-2008.

Выбор спектральных диапазонов для определения содержания H₂O в атмосфере

Общее содержание водяного пара в атмосфере может быть определено из атмосферных солнечных спектров высокого разрешения, измеренных на наземных ИК-Фурье-спектрометрах, например работающих в сетях TCCON и NDACC. Для определения содержания водяного пара наиболее удобно использовать спектральные диапазоны с наименьшим перекрытием линий H₂O с мешающими атмосферными газами и с линиями солнечного излучения. Линии H₂O желательно выбирать со слабой температурной зависимостью, т.е. чтобы у них энергия нижнего уровня была невелика. Также измеряемая оптическая толщина τ должна удовлетворять определенным критериям. Поскольку используется фотометрический метод, при котором погрешность измерения определяется отношением сигнал-шум [32]:

$$\Delta I/I = \Delta T/T = \delta_0,$$

то измеренное пропускание будет связано с истинным значением пропускания T соотношением

$$T_{\text{измер}} = T + \delta_0 = e^{-\tau} + \delta_0,$$

$$\tau_{\text{измер}} = -\ln T_{\text{измер}} = -\ln(e^{-\tau} + \delta_0).$$

Отсюда следует, что относительная погрешность измерения оптической толщины

$$\Delta \tau_{\text{измер}} = \frac{|\tau_{\text{измер}} - \tau|}{\tau_{\text{измер}}}.$$

Следовательно, необходимо выбирать такие значения τ , при которых погрешность будет невелика. Из рис. 4 видно, что минимальные значения относительной погрешности определения оптической толщины достигаются при изменениях $\tau = 0,3-2$ (погрешность не более 5%).

Для условий лета средних широт в ближнем ИК-диапазоне при зенитных углах Солнца до 70° вышеперечисленным критериям соответствуют линии H₂O из диапазонов 4500–4600, 6500–6600 см⁻¹ и др.

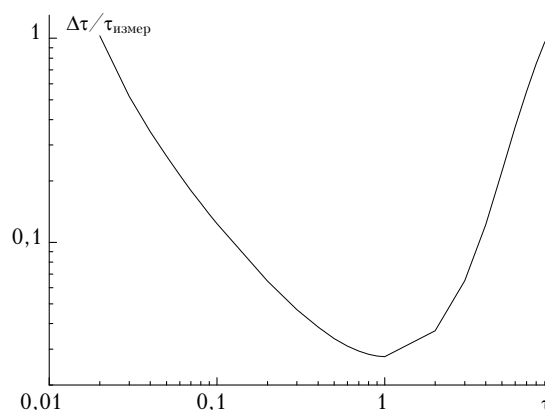


Рис. 4. Относительная погрешность оптической толщины при отношении сигнал-шум = 100

Результаты определения общего содержания водяного пара из измеренных солнечных спектров

Из измеренных на наземном Фурье-спектрометре атмосферных спектров солнечного излучения в обсерватории Коуровка было определено общее содержание водяного пара в столбе атмосферы W для различных месяцев 2013 г. В прямой задаче при расчете атмосферного пропускания учитывались поглощение CH₄, H₂O, CO₂, N₂O, CO, O₃, O₂ и спектр излучения Солнца [33, 34]. Обратная задача решалась с использованием пакета программ SFIT4 [35]. Моделирование в прямой задаче при определении содержания H₂O проводилось с использованием линий поглощения H₂O из HITRAN-2008, HITRAN-2012, GEISA-2011 и UCL08. При этом параметры линий поглощения остальных атмосферных газов были взяты из HITRAN-2008. Для определения общего содержания H₂O использовались полосы поглощения в спектральных диапазонах 4500–4600 и 6500–6600 см⁻¹.

Результаты определения атмосферного содержания H₂O с использованием различных спектроскопических банков данных представлены на рис. 5.

Для сравнения приведены среднемесячные значения содержания этих газов в районе обсерватории Коуровка, полученные по данным измерений спутникового спектрометра MODIS [36] (звездочки). Как показано на рис. 5, б, относительные различия между результатами, полученными с использованием HITRAN-2008, GEISA-2011 и HITRAN-2012, могут достигать 3% и более. Данные ОС H₂O, восстановленные с HITRAN-2008 и UCL08, имеют очень близкие значения.

На рис. 6 построена зависимость относительных различий в общем содержании H₂O, восстановленном из измеренных атмосферных солнечных спектров с использованием параметров линий поглощения H₂O из HITRAN-2012, HITRAN-2008, GEISA-2011 и UCL08, от общего содержания водяного пара в атмосфере. Наибольшие относительные различия (до 3%) между данными ОС H₂O, восстановленными с использованием HITRAN-2008 и GEISA-2011,

наблюдаются при более низких содержаниях H_2O в атмосфере, что характерно для зимних месяцев с низкими температурами. Относительное различие между данными ОС, полученными с использованием HITRAN-2012 и HITRAN-2008, носит систематический характер и практически не зависит от величины содержания H_2O в столбе атмосферы и от сезона года. По нашим восстановленным данным были рассчитаны среднесезонные значения ОС H_2O (рис. 7).

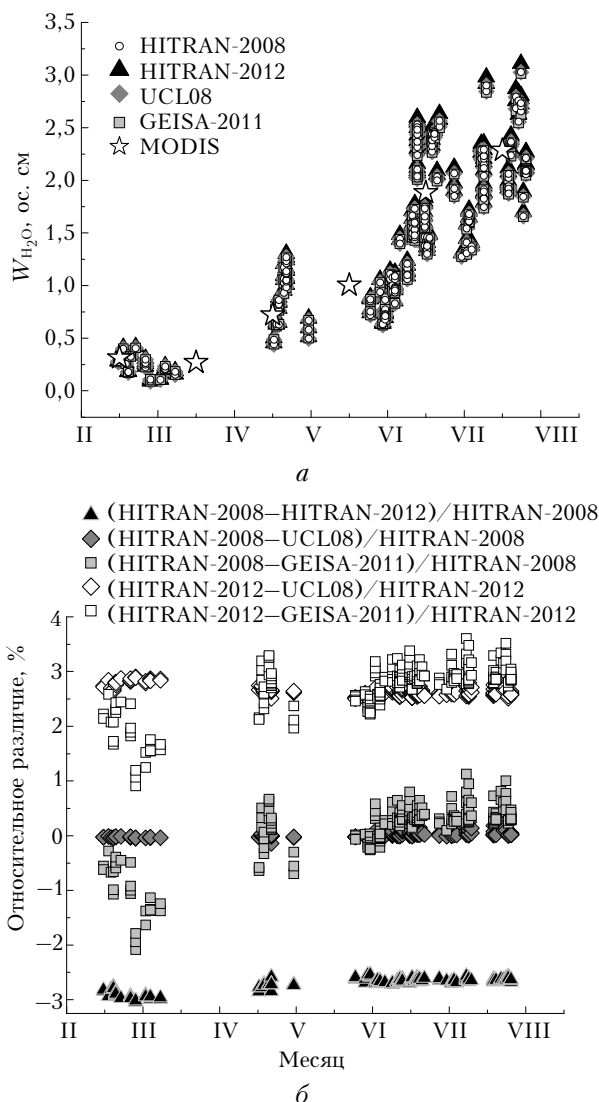


Рис. 5. Общее содержание H_2O , восстановленное из измеренных атмосферных солнечных спектров с использованием параметров линий поглощения H_2O из HITRAN-2012, HITRAN-2008, GEISA-2011 и UCL08 (a). Относительные различия в восстановленном общем содержании H_2O (б)

Имеется достаточно хорошее согласие наших данных со среднесезонными спутниковыми измерениями MODIS, за исключением данных за май и июнь, где спутниковые измерения имеют более высокие значения. Возможными причинами расхождения в мае и июне могут быть различия во времени и днях наземных и спутниковых измерений, использованных для усреднения за месяц.

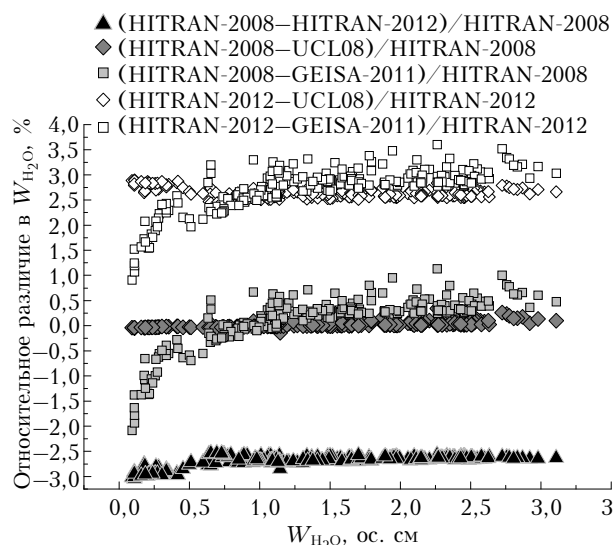


Рис. 6. Зависимость относительных различий в общем содержании H_2O , восстановленного из измеренных атмосферных солнечных спектров с использованием параметров линий поглощения H_2O из HITRAN-2012, HITRAN-2008, GEISA-2011 и UCL08, от общего содержания водяного пара в атмосфере

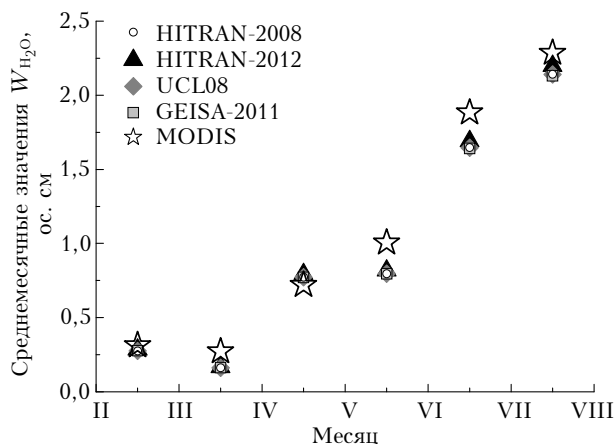


Рис. 7. Сравнение среднесезонных значений общего содержания H_2O , восстановленного из измеренных атмосферных солнечных спектров с использованием параметров линий поглощения H_2O из HITRAN-2012, HITRAN-2008, GEISA-2011 и UCL08, со среднесезонными данными общего содержания H_2O , полученными из спутниковых измерений MODIS

Заключение

Моделирование атмосферного пропускания выявило значительный разброс между результатами, полученными с использованием HITRAN-2008, GEISA-2011, UCL08 и HITRAN-2012. Максимальное различие в пропускании достигает 0,4 при спектральном разрешении $0,02 \text{ см}^{-1}$ в спектральном диапазоне $4000\text{--}7000 \text{ см}^{-1}$. Использование в расчетах линий H_2O из спектральных интервалов, где наблюдаются такие расхождения, может привести к неопределенности в определении ОС H_2O из атмосферных солнечных спектров высокого разрешения, превышающей естественную изменчивость содержания водяного пара в атмосфере.

Исходя из критериев оптимальной оптической толщи ($\tau = 0,3-2$) и наилучшего согласия модельных и измеренных атмосферных спектров, а также наименьшего различия между спектрами, вычисленными с использованием различных спектроскопических банков данных, были найдены спектральные интервалы, перспективные для определения ОС H_2O в атмосфере из солнечных спектров в ближнем ИК-диапазоне, например 4550–4600, 6500–6600 cm^{-1} .

Результаты определения ОС H_2O из измеренных атмосферных спектров показали систематический сдвиг (около 3%) между данными ОС, восстановленными с использованием спектроскопических баз HITRAN-2008 и HITRAN-2012. Наименьшее относительное различие (до 1%) между данными ОС H_2O , полученными с применением HITRAN-2008 и GEISA-2011, наблюдается в летние месяцы с большим содержанием водяного пара в атмосфере, в холодные месяцы различие возрастает до 2%. Величины ОС H_2O , полученные при использовании HITRAN-2008 и UCL08, имеют очень близкие значения.

Авторы выражают благодарность В.И. Захарову и Н.В. Рокотяну за предоставленные атмосферные солнечные спектры, измеренные на Фурье-спектрометре в обсерватории Коуровка.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы ФНИ государственных академий наук на 2013–2020 гг. (проект П.10.3.7), а также частично поддержана грантом РФФИ № 15-45-02655 р-поволжье.

1. *Fifth Assessment Report (AR5)*. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). URL: <http://www.ipcc.ch>
2. Zuev V.E., Komarov V.S. *Statistical Models of the Temperature and Gaseous Components of the Atmosphere*. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1987. 306 p.
3. MODIS Atmosphere. URL: <http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/>
4. *Atmospheric Infrared Sounder (AIRS)*. URL: <http://airs.jpl.nasa.gov/data/overview>
5. AERONET. URL: <http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>
6. *Network for the Detection of Atmospheric Composition Change (NDACC)*. URL: <http://www.ndsc.ncep.noaa.gov/>
7. 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 // *Phil. Tran. Royal Soc. A*. 2011. V. 369, N 1943. P. 2087–2112.
8. Семенов А.О., Виротайнен Я.А., Тимофеев Ю.М., Поберовский А.В. Сравнение наземных ИК-спектроскопических измерений общего содержания водяного пара с данными радиозондовых измерений // *Оптика атмосф. и океана*. 2014. Т. 27, № 11. С. 976–980.
9. Shephard M.W., Clough S.A., Payne V.H., Smith W.L., Kireev S., Cady-Pereira K.E. Performance of the line-by-line radiative transfer model (LBLRTM) for temperature and species retrievals: IASI case studies from JAIVEx // *Atmos. Chem. Phys.* 2009. V. 9. P. 7397–7417.
10. Milz M., Glatthor N., Stiller G.P., von Clarmann T. Dependence of water vapour results for MIPAS/Envisat on the spectral lines used for the retrieval // *Geophys. Res. Abstracts*. 2005. V. 7. P. 07234.

11. Frankenberg C., Bergamaschi P., Butz A., Houweling S., Meirink J.F., Notholt J., Petersen A.K., Schrijver H., Warneke T., Aben I. Tropical methane emissions: A revised view from SCIAMACHY onboard ENVISAT // *Geophys. Res. Lett.* 2008. V. 35. L15811. DOI: 10.1029/2008GL034300.
12. Chesnokova T.Yu., Boudon V., Gabard T., Gribanov K.G., Zakharov V.I., Firsov K.M. Near-Infrared Radiative Transfer Modeling To Retrieve Atmospheric Methane Total Amount // *Solar Radiation: Protection, Management and Measurement Techniques* / Ed. by Fatih Onur Hocaoglu. N.Y.: Nova Science Publishers, 2012. Chapter 2. P. 23–41.
13. Chesnokova T.Yu., Kapitanov V.A., Ponomarev Yu.N., Osipov K.Yu. High Resolution Spectra of Methane and Interfering Gases and their Application to the Atmospheric Radiative Transfer Simulation in the Methane Concentration Retrieval Tasks // *Methane in the Environment: Occurrence, Uses and Production* / Ed. by Angelo Basile. N.Y.: Nova Science Publishers, 2013. Chapter 2. P. 15–42.
14. Rothman L.S., Gordon I.E., Barbe A., Benner D.C., Bernath P.F., Birk M., Boudon V., Brown L.R., Campargue A., Champion J.-P., Chance K., Coudert L.H., Dana V., Devi V.M., Fally S., Flaud J.-M., Gamache R.R., Goldman A., Jacquemart D., Kleiner I., Lacombe N., Lafferty W.J., Mandin J.-Y., Massie S.T., Mikhailenko S.N., Miller C.E., Moazzen-Ahmadi N., Naumenko O., Nikitin A.V., Orphal J., Perevalov V.I., Perrin A., Predoi-Cross A., Rinsland C.P., Rotger M., Simecková M., Smith M.A.H., Sung K., Tashkun S.A., Tennyson J., Toth R.A., Vandaele A.C., Vander Auwera J. The HITRAN 2008 molecular spectroscopic database // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*. 2009. V. 110, N 9–10. P. 533–572.
15. Rothman L.S., Gordon I.E., Babikov Y., Barbe A., Benner D.C., 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.
16. 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, iss. 3. P. 034113-10.
17. Lodi L., Tennyson J. Line lists for $H_2^{18}O$ and $H_2^{17}O$ based on empirical line positions and *ab initio* intensities // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*. 2012. V. 113, iss. 11. P. 850–858.
18. 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., Benner D.C., 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., Xu Li-Hong, Lyulin O.M., Mandin J.-Y., Maki A., Mikhailenko S., Miller C.E., Mishina T., Moazzen-Ahmadi N., Müller H.S.P., Ni-

- kitin 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, iss. 15. P. 2395–2445.
19. *Partridge H., Schwenke D.* The determination of an accurate isotope dependent potential energy surface for water from extensive *ab initio* calculations and experimental data // *J. Chem. Phys.* 1997. V. 106, N 11. P. 4618–4639.
 20. *Barber R.J., Tennyson J., Harris G.J., Tolchenov R.N.* A high accuracy computed water line list – BT2 // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 2006. V. 368. P. 1087.
 21. *Mikhailenko S.N., Albert K.A.K., Mellau G., Klee S., Winnewisser B.P., Winnewisser M., Tyuterev V.G.* Water vapor absorption line intensities in the 1900–6600 cm^{-1} region // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* 2008. V. 109, iss. 16. P. 2687–2696
 22. *Mikhailenko S.N., Le W., Kassi S., Campargue A.* Weak water absorption lines around 1.455 and 1.66 μm by CW-CRDS // *J. Mol. Spectrosc.* 2007. V. 244, iss. 2. P. 170–178.
 23. *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, iss. 2. P. 326–355.
 24. *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, iss. 9. P. 4273–4287.
 25. *Chesnokova T.Yu., Voronin B.A., Bykov A.D., Zhuravleva T.B., Kozodoev A.V., Lugovskoy A.A., Tennyson J.* Calculation of solar radiation atmospheric absorption with different H_2O spectral line data banks // *J. Mol. Spectrosc.* 2009. V. 256, iss. 1. P. 41–44.
 26. *Coudert L.H., Wagner G., Birk M., Baranov Yu.I., Lafferty W.J., Flaud J.-M.* The H_2^{16}O molecule: Line position and line intensity analyses up to the second triad // *J. Mol. Spectrosc.* 2008. V. 251, iss. 1–2. P. 339–357.
 27. *Tolchenov R., Tennyson J.* Water line parameters from refitted spectra constrained by empirical upper state levels: study of the 9500–14500 cm^{-1} region // *Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* 2008. V. 109, N 8. P. 559–568.
 28. *Voronin B.A., Mishina T.P., Lavrentyeva N.N., Chesnokova T.Y., Barber M.J., Tennyson J.* Estimation of the $J'J''$ dependence of water vapor line broadening parameters // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* 2010. V. 111, iss. 15. P. 2308–2314.
 29. *Anderson G., Clough S., Kneizys F., Chetwynd J., Shettle E.* AFGL Atmospheric Constituent Profiles (0–120 km), Air Force Geophysics Laboratory. AFGL-TR-86-0110. Environ. Res. Paper. 1986. N 954.
 30. *Atmospheric Fourier Station in Kourvka Astronomical Observatory (Ural State University).* URL: http://www.remotesensing.ru/fts_sta.html
 31. *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 // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 1996. V. 77. P. 437–471.
 32. *Зайдель А.Н., Островская Г.В., Островский Ю.И.* Техника и практика спектроскопии. М.: Наука, 1972. 375 с.
 33. *Fontenla J., White O.R., Fox P.A., Avrett E.H., Kurucz R.L.* Calculation of solar irradiances. I. Synthesis of the solar spectrum // *Astrophys. J.* 1999. V. 518, iss. 1. P. 480–500.
 34. *Sun irradiance.* URL: <http://kurucz.harvard.edu/sun/irradiance2008/>
 35. *Palm M.* Theoretical background SFIT4 // Sfit4 Error Analysis Workshop. Tsukuba, Japan. June. 2013.
 36. *MODIS Terra and Aqua Monthly Level-3. Data Atmosphere Monthly Global 1X1 Degree Products.* URL: http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance_id=MODIS_MONTHLY_L3

T.Yu. Chesnokova, A.V. Chentsov, K.M. Firsov. **Atmospheric radiative transfer modeling in the water vapor total content retrievals using different spectroscopic databanks of H_2O absorption line parameters.**

The results of modeling of atmospheric absorption spectra of solar radiation in spectral intervals, where measurement of H_2O content can be carried out, are presented. A comparison with the measured atmospheric solar spectra is made. Water vapor total content in vertical atmospheric column is retrieved from the measured atmospheric spectra with the use of different spectroscopic databanks of H_2O absorption lines for various meteorological conditions and solar zenith angles.