

УДК 551.521.3, 535.343.4, 551.581.212

Определение содержания парниковых газов из атмосферных спектров солнечного излучения с использованием различных спектроскопических данных по линиям поглощения

Т.Ю. Чеснокова¹, А.В. Ченцов¹, Н.В. Рокотян², В.И. Захаров^{2*}

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1
²Уральский федеральный университет
620083, г. Екатеринбург, пр. Ленина, 51

Поступила в редакцию 4.03.2015 г.

Проведено сравнение атмосферных спектров солнечного излучения, вычисленных различными данными по линиям поглощения атмосферных газов, со спектрами, измеренными на наземном Фурье-спектрометре с высоким спектральным разрешением. Определено содержание в столбе атмосферы углекислого газа и метана из измеренных спектров при использовании в прямой задаче разных современных спектроскопических банков данных. Показано, что значения атмосферного содержания метана, восстановленные с использованием двух последних версий спектроскопической базы данных HITRAN, отличаются почти на 2%, для углекислого газа наблюдалось меньшее различие.

Ключевые слова: атмосферное пропускание, спектроскопические банки данных, углекислый газ, метан; atmospheric transmission, spectroscopic databanks, carbon dioxide, methane.

Введение

Многие исследования отмечают, что значимую роль в потеплении климата, наблюдаемом в последние годы, играет увеличение концентрации парниковых газов в атмосфере, таких как CO₂, CH₄, окислы азота, фреоны. Согласно данным [1] за последние 50 лет скорость роста общего содержания (ОС) CO₂ увеличилась более чем в 4 раза. В отчете рабочей группы ИРСС 2013 г. [2] было отмечено, что наблюдаемое содержание CH₄ в атмосфере превышает доиндустриальный уровень в 2,5 раза. Увеличение температуры Земли и атмосферы приводит к таянию ледников и повышению уровня моря, а также к возникновению климатических аномалий [3]. В связи с этим регулярный мониторинг содержания парниковых газов в атмосфере является актуальной задачей. Измерение ОС атмосферных газов осуществляется при помощи наземных и спутниковых спектрометров, которые регистрируют в ближнем ИК-диапазоне солнечное излучение, прошедшее через атмосферу. Для валидации спутниковых измерений используются наземные измерения атмосферных спектров на ИК Фурье-спектрометрах с высоким спектральным разрешением, например сеть TCCON [4].

Согласно документу Европейского космического агентства [5] для задач моделирования климата точность определения содержания углекислого газа и метана из измерений спутниковых спектрометров должна быть не хуже 1%. В работе [6] выполнено сравнение содержания парниковых газов в столбе атмосферы, определенного из измерений спутниковых спектрометров TANSO-FTS и SCIAMACHY и наземных измерений сети TCCON при использовании различных алгоритмов восстановления содержания. Сравнение выявило значительный разброс данных: различие до 74 ppb (4%) для CH₄ и 4,7 ppb (1,2%) для CO₂.

Точность определения ОС газов в значительной степени зависит от качества спектроскопической информации о поглощении атмосферными газами, используемой при решении обратной задачи. В работе [7] показано, что ОС метана, определенное из измеренных атмосферных спектров в ближнем ИК-диапазоне может различаться на 7% и более при использовании различных банков данных по линиям поглощения метана. Также имеются существенные различия в данных по параметрам линий поглощения CO₂ в разных спектроскопических банках данных. Например, различие между двумя версиями базы данных HITRAN 2004 [8] и HITRAN 2008 [9] может привести к погрешности в восстановленном общем содержании углекислого газа свыше 50 ppb (13%) [10].

Для повышения точности определения ОС атмосферных газов необходима разработка эффективных

* Татьяна Юрьевна Чеснокова (ches@iao.ru); Алексей Владимирович Ченцов (alex86@pochta.ru); Никита Валерьевич Рокотян (nikita@rokotyau.com); Вячеслав Иосифович Захаров (v.zakharov@remotesensing.ru).

алгоритмов вычисления переноса оптического излучения в атмосфере на основе анализа современной спектроскопической информации по поглощению атмосферными газами. В настоящей статье выполнено сравнение атмосферных спектров поглощения солнечного излучения, вычисленных с использованием различных банков данных по линиям поглощения атмосферных газов, со спектрами, измеренными на наземном Фурье-спектрометре с высоким спектральным разрешением. Приводятся результаты восстановления содержания атмосферных газов из измеренных спектров при использовании в прямой задаче разных спектроскопических банков данных.

Моделирование атмосферных спектров с использованием различных спектроскопических банков данных

Для моделирования атмосферного пропускания солнечного излучения с высоким спектральным разрешением используется спектроскопическая информация по линиям поглощения атмосферных газов: положение центра линии, интенсивность и полуширина линии, энергия нижнего состояния перехода, коэффициент температурной зависимости полуширины, сдвиг линии давлением воздуха и функция контура линии. Параметры линий определяются экспериментально и с помощью *ab initio* расчетов и хранятся в специальных базах данных параметров спектральных линий или атласах. В настоящее время существуют различные спектроскопические базы данных, в которых информация по линиям поглощения может существенно различаться. В наших работах [7, 11, 12] было проведено исследование влияния неопределенности параметров линий CH_4 и CO_2 в спектроскопических банках данных на точность моделирования атмосферного пропускания и было показано, что при высоком спектральном разрешении кроме интенсивности линий значительную погрешность вносят неопределенности в коэффициентах уширения.

В атмосферных расчетах наиболее часто используется спектроскопическая база параметров линий поглощения газов HITRAN [13], данные в которой регулярно обновляются. Значительные изменения и дополнения по линиям поглощения метана в ближнем ИК-диапазоне были сделаны в новой версии базы данных HITRAN 2012 [14]. По сравнению с предыдущей версией 2008 г. [9] в новой базе данных HITRAN 2012 72% линий CH_4 были заменены в спектральном диапазоне $0\text{--}11502\text{ см}^{-1}$ и добавлены новые полосы поглощения. В диапазоне до 4800 см^{-1} для обновления использовались теоретические расчеты параметров линий метана, выше 5550 см^{-1} — данные были получены из лабораторных измерений на спектрометрах при различных давлениях и температурах. При этом число линий CH_4 в новой базе данных возросло более чем в 1,5 раза [15].

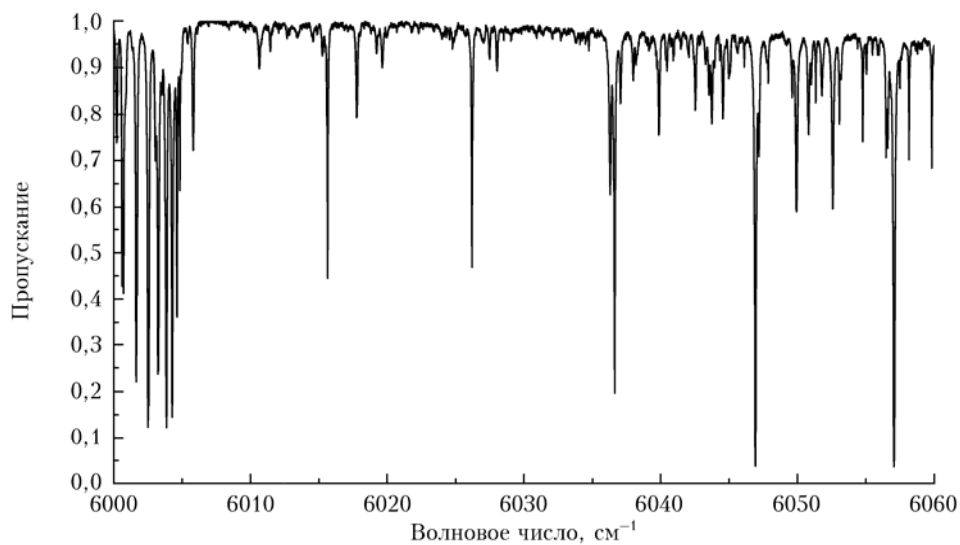
В HITRAN 2012 также увеличилось почти в 1,5 раза число линий поглощения CO_2 по сравнению

с предыдущей версией HITRAN 2008 в диапазоне $0\text{--}12785\text{ см}^{-1}$. Изменения были сделаны на основе новых экспериментальных измерений и расчетных данных, содержащихся в банке линий поглощения CO_2 CDS 296 [16, 17]. Спектроскопический банк параметров линий поглощения CO_2 CDS 296 создан на основе метода эффективных операторов, и его новая версия [17] содержит около 500000 линий поглощения в диапазоне $6\text{--}14075\text{ см}^{-1}$ для 12 изотопов CO_2 .

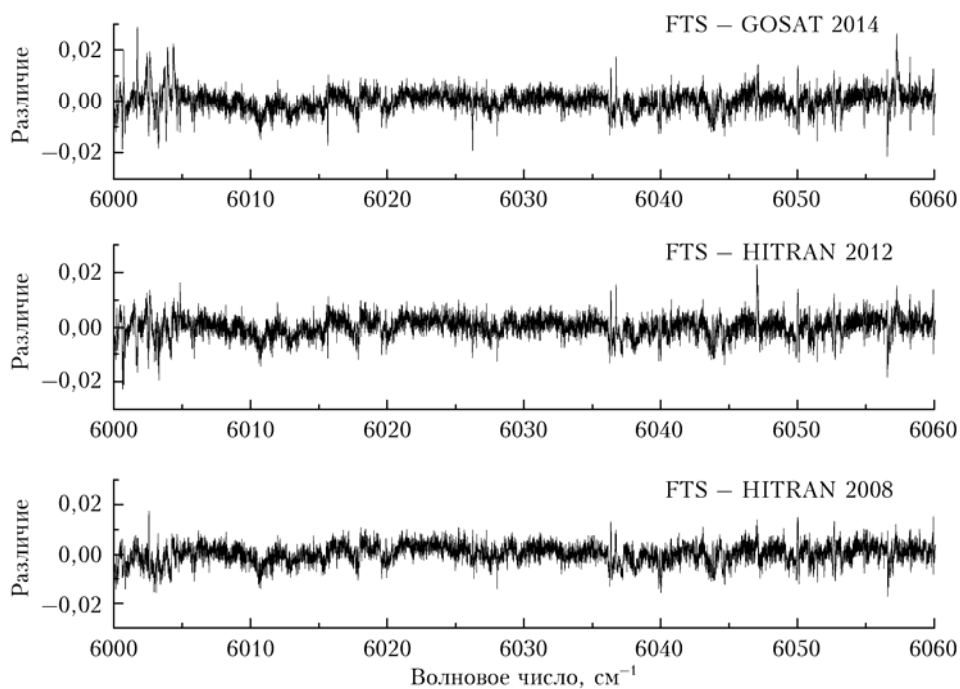
Недавно вышла новая версия банка параметров линий метана [18], разработанная для обработки данных измерений Фурье-спектрометра, расположенного на японском спутнике GOSAT [19]. Банк данных содержит спектроскопические параметры 12150 линий поглощения метана в диапазоне $5550\text{--}6240\text{ см}^{-1}$. Параметры линий были определены из лабораторных измерений спектров поглощения CH_4 с высоким спектральным разрешением при различных температурах и давлениях ушоряющих газов. По сравнению с предыдущей версией 2009 г. [20] спектроскопический банк GOSAT 2014 [18] включает в себя уточненные значения положения центров линий и интенсивностей. В работах [7, 11] показано, что имеются заметные различия между модельными атмосферными спектрами, вычисленными с использованием базы данных HITRAN 2008 и банка GOSAT 2009, а также приведено сравнение с атмосферными солнечными спектрами, измеренными на наземном Фурье-спектрометре. Представляет интерес провести новое сравнение атмосферных измерений с модельными спектрами, вычисленными с последними версиями атласа HITRAN и банка данных GOSAT.

Мы провели моделирование атмосферных спектров солнечного излучения в сильных полосах поглощения метана $6000\text{--}6100\text{ см}^{-1}$, которые используются для определения ОС метана, и было выполнено сравнение модельных спектров с атмосферными спектрами, измеренными наземным ИК Фурье-спектрометром Bruker IFS 125M (FTS) на Уральской атмосферной станции в Коуровке со спектральным разрешением $0,02\text{ см}^{-1}$. Учитывались основные поглощающие атмосферные газы (CH_4 , H_2O , CO_2 , N_2O , CO , O_3 , O_2) и спектр излучения Солнца [21, 22]. Высотные профили температуры, давления и концентрации атмосферных газов были взяты из метеомоделей [23, 24], которые были дополнены измеренными значениями температуры, давления и влажности у поверхности в момент измерений в районе Коуровки. Были сделаны расчеты с параметрами линий метана из HITRAN 2008 [9], HITRAN 2012 [14] и GOSAT 2014 [18], при этом параметры линий остальных газов были взяты из HITRAN 2008. Измеренный атмосферный солнечный спектр и результаты сравнения модельных и измеренных спектров приведены на рис. 1.

Различие между модельными спектрами, вычисленными с различными версиями HITRAN, могут достигать 0,03. При этом значительного улучшения согласия между модельными и измеренными спектрами при использовании линий CH_4 из новой версии HITRAN 2012 по сравнению с предыдущей версией в диапазоне $6000\text{--}6100\text{ см}^{-1}$ не наблюдалось.



a



б

Рис. 1. Атмосферный солнечный спектр, измеренный на Фурье-спектрометре (Коуровка, 3.03.2013 г., зенитный угол Солнца $SZA = 53^\circ$) (*a*); различие между измеренным атмосферным спектром FTS и спектрами, вычисленными с параметрами линий CH_4 из спектроскопических баз данных HITRAN 2008, HITRAN 2012 и GOSAT 2014 (*б*)

Аналогичное сравнение измеренных и модельных атмосферных солнечных спектров было сделано в сильной полосе поглощения CO_2 $6180\text{--}6260\text{ см}^{-1}$. Моделирование осуществлялось с использованием линий поглощения CO_2 из базы данных HITRAN 2008, HITRAN 2012 и банка параметров линий CO_2 CDS2014 [17]. Параметры линий других газов, поглощающих в этом диапазоне, были взяты из HITRAN 2008. На рис. 2 представлены пример измеренного спектра и различие между измеренным ат-

мосферным спектром и спектром, вычисленным с использованием HITRAN 2012. В отличие от линий поглощения метана параметры линий поглощения CO_2 лучше исследованы в ближнем ИК-диапазоне и значительно различаются в HITRAN 2008, HITRAN 2012 и CDS2014, что приводит к схожим результатам при моделировании и сравнении с атмосферными измерениями. Поэтому на рис. 2 приведено только сравнение измеренного спектра с модельным спектром, вычисленным с использованием HITRAN 2012.

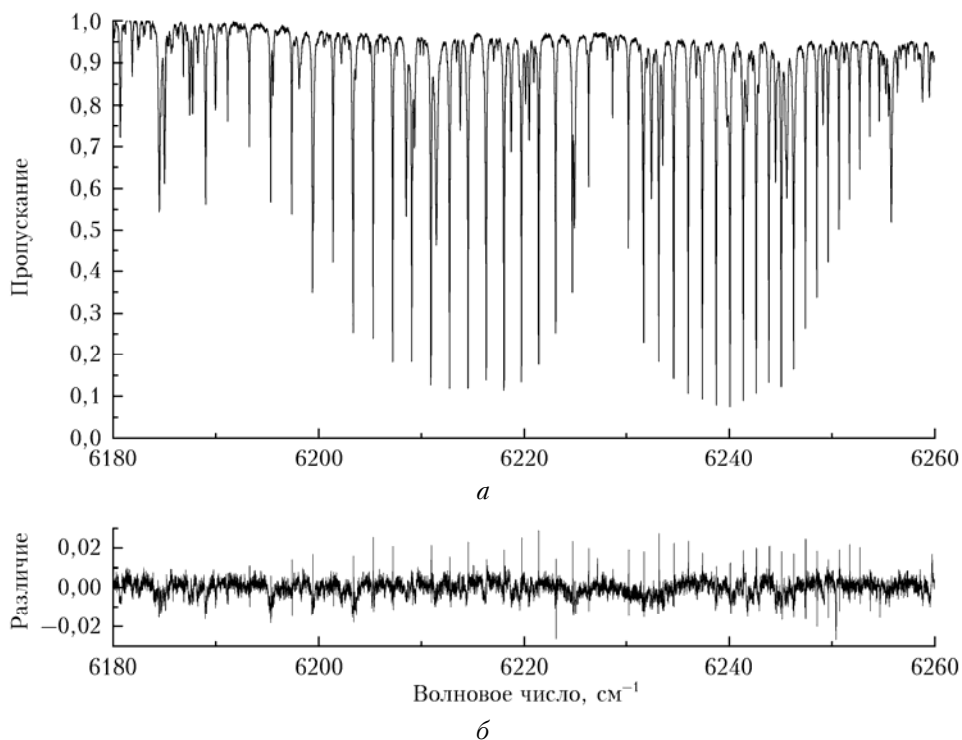


Рис. 2. Атмосферный солнечный спектр, измеренный на Фурье-спектрометре (Коуровка, 25.07.2013 г., зенитный угол Солнца $SZA = 37,6^\circ$) (а); различие между измеренным атмосферным спектром FTS и спектром, вычисленным с параметрами линий CO_2 из спектроскопической базы данных HITRAN2012 (б)

Определение содержания атмосферных газов из измеренных солнечных спектров

Из измеренных на наземном Фурье-спектрометре атмосферных спектров солнечного излучения было определено содержание метана и углекислого газа в столбе атмосферы для различных месяцев 2013 г. В прямой задаче при расчете атмосферного пропускания учитывались поглощение CH_4 , H_2O , CO_2 , N_2O , CO , O_3 , O_2 и спектр излучения Солнца. Высотные профили температуры, давления и концентрации атмосферных газов были взяты из метеомоделей WACCM для г. Екатеринбурга [23], которые были дополнены измеренными значениями температуры, давления и влажности у поверхности в момент измерений в районе Коуровки. Обратная задача решалась с помощью пакета программ SFIT4 [25]. Моделирование в прямой задаче при определении содержания CH_4 проводилось с использованием линий поглощения CH_4 из HITRAN2008, HITRAN2012 и GOSAT2014 [18], при определении CO_2 — с банком линий поглощения CO_2 CDSD2014 [17], HITRAN2008 и HITRAN2012. При этом параметры линий поглощения остальных атмосферных газов были взяты из HITRAN2008. Для определения содержания CH_4 использовались полосы поглощения в спектральном диапазоне $5900\text{--}6100\text{ см}^{-1}$, для CO_2 — $6180\text{--}6260\text{ см}^{-1}$. Одновременно в прямой модели корректировалось общее содержание водяного пара,

которое определялось из измерений в диапазоне $4630\text{--}4725\text{ см}^{-1}$. Результаты определения атмосферного содержания CH_4 и CO_2 с использованием различных спектроскопических банков данных представлены на рис. 3 и 4.

Как видно из графиков на рис. 3, а, б, содержание метана, восстановленного с использованием HITRAN2012, имеет большие значения по сравнению с HITRAN2008 и GOSAT2014. На рис. 3, в показано относительное различие в атмосферном содержании CH_4 , восстановленном с использованием параметров линий поглощения CH_4 из HITRAN2012, HITRAN2008 и GOSAT2014. Различие между данными, полученными с HITRAN2012 и HITRAN2008, может достигать 2% для весенних и летних месяцев, в зимнее время наблюдается меньшее расхождение. Данные по атмосферному содержанию CH_4 , восстановленные с использованием HITRAN2008 и GOSAT2014, имеют близкие значения (см. рис. 3, в).

На рис. 4, а представлены результаты восстановления атмосферного содержания CO_2 . В летние месяцы концентрация CO_2 начинает снижаться, достигая минимума к концу августа, что вызвано повышением стока CO_2 за счет вегетационной активности. В отличие от метана для CO_2 не наблюдается значимого различия в восстановленном значении содержания при использовании разных версий HITRAN (см. рис. 4). Данные по содержанию CO_2 , полученные с использованием банка CDSD2014, отличаются от данных, восстановленных с HITRAN, не более чем на 0,6% (рис. 4, в).

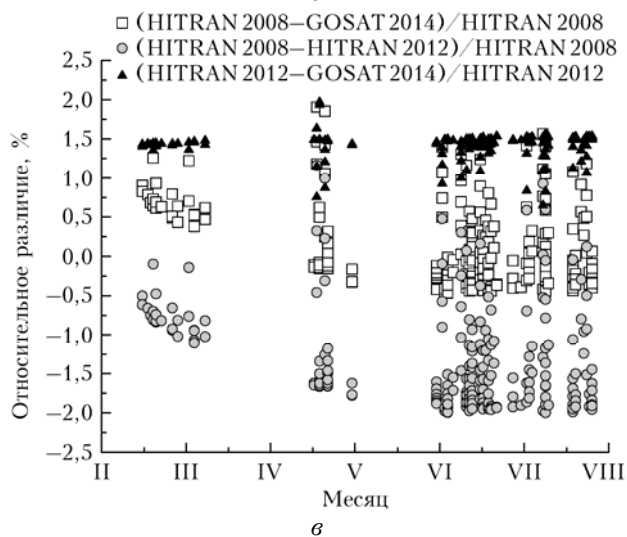
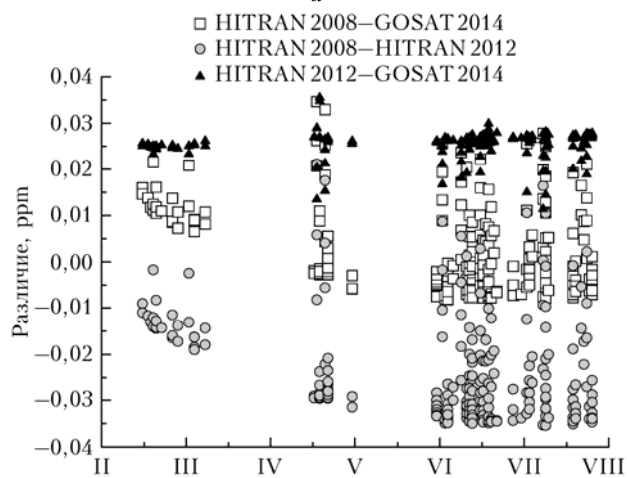
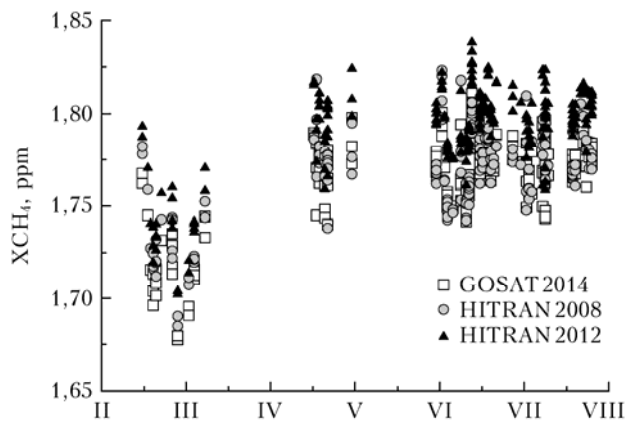


Рис. 3. Атмосферное содержание CH_4 , восстановленное из измеренных атмосферных солнечных спектров с использованием параметров линий поглощения CH_4 из HITRAN 2012, HITRAN 2008 и GOSAT 2014 [18] (а); различия в атмосферном содержании CH_4 , восстановленном с использованием параметров линий поглощения CH_4 из HITRAN 2012, HITRAN 2008 и GOSAT 2014 (б, в)

По нашим восстановленным данным были рассчитаны среднемесячные значения атмосферного содержания CO_2 и CH_4 (рис. 5). Для сравнения на

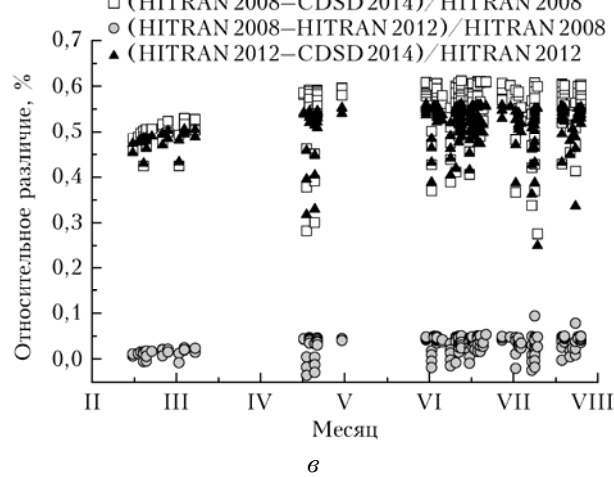
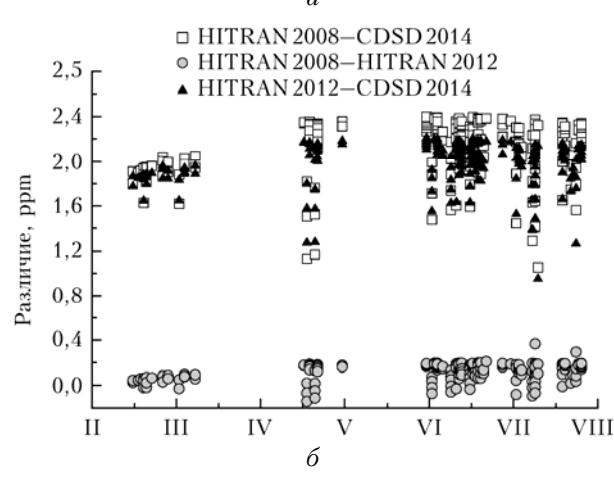
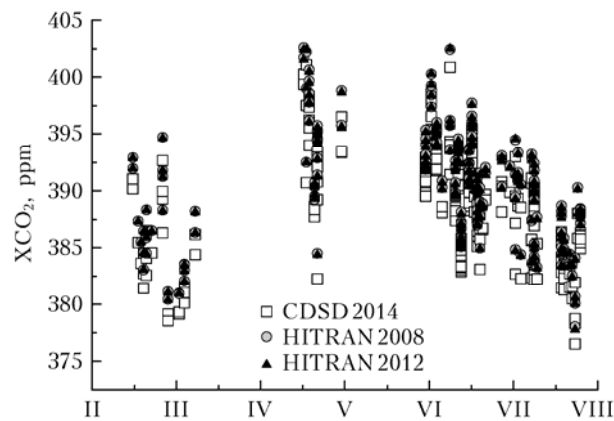


Рис. 4. Атмосферное содержание CO_2 , восстановленное из измеренных атмосферных солнечных спектров с использованием параметров линий поглощения CO_2 из HITRAN 2012, HITRAN 2008 и CDS 2014 [17] (а); различия в атмосферном содержании CO_2 , восстановленном с использованием параметров линий поглощения CO_2 из HITRAN 2012, HITRAN 2008 и CDS 2014 (б, в)

рис. 5 приведены среднемесячные значения содержания этих газов в районе обсерватории Коуровка, полученные по данным измерений Фурье-спектрометра, расположенного на японском спутнике GOSAT [26].

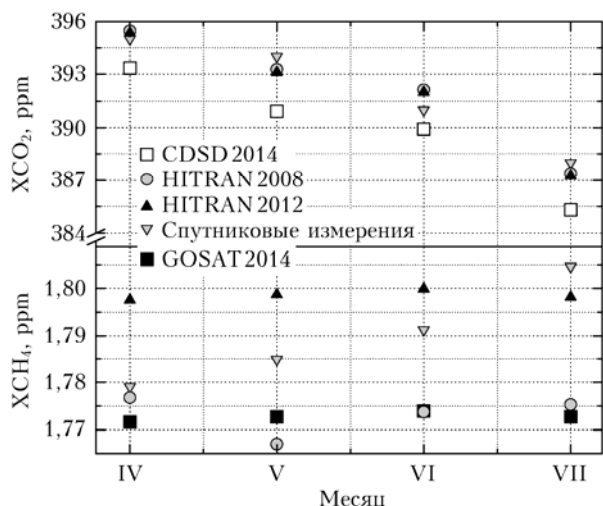


Рис. 5. Среднемесячные значения атмосферного содержания CO₂ и CH₄, восстановленные из измеренных наземным Фурье-спектрометром атмосферных солнечных спектров с использованием параметров линий поглощения CO₂ и CH₄ из HITRAN 2012, HITRAN 2008, GOSAT 2014 и CDS2014. Сравнение со среднемесячными спутниковыми измерениями [26]

Имеется хорошее согласие наших данных со среднемесячными значениями спутниковых измерений содержания углекислого газа. Для метана наблюдается меньшее согласие.

Заключение

Различия в параметрах линий поглощения атмосферных газов в современных спектроскопических банках данных могут приводить к существенным неопределенностям в результатах восстановления содержания газов в атмосфере из измерений солнечного излучения в ближнем ИК-диапазоне с высоким спектральным разрешением.

Значения атмосферного содержания CH₄, восстановленные с применением двух версий спектроскопической базы данных HITRAN 2008 и HITRAN 2012, отличаются почти на 2%. Данные по содержанию CH₄, полученные с использованием банка параметров линий CH₄ GOSAT 2014, близки по значениям к данным с HITRAN 2008.

По сравнению с метаном в результатах определения содержания CO₂ наблюдается меньшее различие между данными, восстановленными с разными спектроскопическими банками параметров линий поглощения CO₂. Расхождение не превышает 0,6%.

Следует отметить, что для среднемесячных значений содержания CO₂ две версии базы данных HITRAN и спутниковые данные [26] дают очень хорошее согласие, и их можно рекомендовать к использованию. А по метану необходимо дальнейшее уточнение параметров линий поглощения в ближнем ИК-диапазоне.

Данные исследования частично поддержаны грантом РФФИ № 15-01-05984.

1. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. URL: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>

2. IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. URL: <http://www.ipcc.ch>

3. Белан Б.Д., Креков Г.М. Влияние антропогенного фактора на содержание парниковых газов в тропосфере. 1. Метан // Оптика атмосф. и океана. 2012. Т. 25, № 4. С. 361–373.

4. 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. Trans. Roy. Soc. London. A. 2011. V. 369, N 1943. P. 2087–2112.

5. Buchwitz M., Chevallier F., Bergamaschi P., Aben I. User Requirements Document for the GHG-CCI project of ESA's Climate Change Initiative. 2011. URL: http://www.esa-ghg-cci.org/?q=webfm_send/173

6. Dils B., Buchwitz M., Reuter M., Schneising O., Boesch H., Parker R., Guerlet S., Aben I., Blumenstock T., Burrows J.P., Butz A., Deutscher N.M., Frankenberg C., Hase F., Hasekamp O.P., Heymann J., Maziure De M., Notholt J., Sussmann R., Warneke T., Griffith D., Sherlock V., Wunch D. The Greenhouse Gas Climate Change Initiative (GHG-CCI): Comparative validation of GHG-CCI SCIAMACHY/ENVISAT and TANSO-FTS/GOSAT CO₂ and CH₄ retrieval algorithm products with measurements from the TCCON // Atmos. Measur. Technol. 2014. V. 7, N 6. P. 1723–1744.

7. Chesnokova T.Yu., Boudon V., Gabard T., Gribanov K.G., Firsov K., Zakharov V.I. Near-infrared radiative transfer modeling with different CH₄ spectroscopic data bases to retrieve atmospheric methane total amount // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2011. V. 112, N 17. P. 2676–2682.

8. Rothman L.S., Jacquemart D., Barbe A., Benner D.C., Birk M., Brown L.R., Carleer M.R., Chackerian C., jr., Chance K., Coudert L.H., Dana V., Devi V.M., Flaud J.-M., Gamache R.R., Goldman A., Hartmann J.-M., Jucks K.W., Maki A.G., Mandin J.-Y., Massie S.T., Orphal J., Perrin A., Rinsland C.P., Smith M.A.H., Tennyson J., Tolchenov R.N., Toth R.A., Vander Auwera J., Varanasi P., Wagner G. The HITRAN 2004 molecular spectroscopy database // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2005. V. 96, N 2. P. 139–204.

9. 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., Lacome N., Lafferty W.J., Mandin J.-Y., Massie S.T., Mikhailenko S.N., Miller C.E., Moazzen-Ahmadi N., Naumenko O.V., 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., Auwera J.V. The HITRAN 2008 molecular spectroscopic database // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2009. V. 110, N 9–10. P. 533–572.

10. Dai Tie, Shi Guangyu, Zhang Xingying, Xu Na. Influence of HITRAN database updates on retrievals of atmospheric CO₂ from near-infrared spectra // Acta Meteorol. Sin. 2012. V. 26, N 5. P. 629–641.

11. Чеснокова Т.Ю. Спектроскопические факторы, влияющие на точность моделирования атмосферного радиационного переноса в полосах поглощения метана в ближнем ИК-диапазоне // Оптика атмосф. и океана. 2013. Т. 26, № 5. С. 398–407.

12. Ченцов А.В., Воронина Ю.В., Чеснокова Т.Ю. Моделирование атмосферного пропускания с различными контурами линий поглощения CO₂ // Оптика атмосф. и океана. 2013. Т. 26, № 9. С. 711–715.

13. *The HITRAN Database*. URL: <http://www.cfa.harvard.edu/hitran/>
14. 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., Couderc 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., Sun 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.
15. Brown L.R., Sung K., Benner D.C., Devi V.M., Boudon V., Gabard T., Wenger C., Campargue A., Leshchishina O., Kass S., Mondelain D., Wang L., Daumont L., Régalia L., Rey M., Thomas X., Tyuterev V.I.G., Lyulin O.M., Nikitin A.V., Niederer H.M., Albert S., Baurecker S., Quack M., O'Brien J.J., Gordon I.E., Rothman L.S., Sasada H., Coustenis A., Smith M.A.H., Carrington T., jr., Wang X.-G., Mantz A.W., Spickler P.T. Methane line parameters in the HITRAN 2012 database // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*. 2013. V. 130. P. 201–219. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2013.06.020.
16. Ташкун С.А., Перевалов В.И. Радиационные свойства CO₂: спектроскопические банки данных для атмосферных и высокотемпературных приложений // *Оптика атмосф. и океана*. 2011. Т. 24, № 12. С. 1109–1112.
17. Tashkun S.A., Perevalov V.I., Gamache R.R., Lamouroux J. CDSD-296, high resolution carbon dioxide spectroscopic databank: Version for atmospheric applications // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*. 2015. V. 152. P. 45–73. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2014.10.017.
18. Nikitin A.V., Lyulin O.M., Mikhailenko S.N., Perevalov V.I., Filippov N.N., Grigoriev I.M., Morino I., Yoshida Y., Matsunaga T. GOSAT-2014 methane spectral line list // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*. 2015. V. 154. P. 63–71. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2014.12.003.
19. *The Greenhouse gases Observing SATellite (GOSAT) Project*. URL: http://www.gosat.nies.go.jp/index_e.html
20. Nikitin A., Lyulin O.M., Mikhailenko S.N., Perevalov V.I., Filippov N.N., Grigoriev I.M., Morino I., Yokota T., Kumazawa R., Watanabe T. GOSAT-2009 methane spectral list in the 5550–6236 cm⁻¹ range // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*. 2010. V. 111, N 15. P. 2211–2224.
21. 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. P. 480–500. DOI: 10.1086/307258.
22. URL: <http://kurucz.harvard.edu/sun/irradiance2008/>
23. URL: <ftp://acd.ucar.edu>
24. 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. Environmental Research Paper. 1986. N 954. 25 p.
25. Palm M. Theoretical background SFIT4 // *Sfit4 Error Analysis Workshop*. Tsukuba, Japan. June 2013.
26. URL: <http://data.gosat.nies.go.jp>

T. Yu. Chesnokova, A.V. Chentsov, N.V. Rokotyay, V.I. Zakharov. Retrieval of content of greenhouse gases from atmospheric spectra of solar radiation with the use of different spectroscopic data on absorption lines.

A comparison of atmospheric solar spectra, calculated with different data on the atmospheric gas absorption lines, with the spectra measured by a ground-based Fourier-spectrometer with a high spectral resolution is made. The carbon dioxide and methane total contents in the atmospheric column are retrieved from the measured spectra with the use of modern spectroscopic databases in a direct model. It is shown that the values of the atmospheric methane content retrieved with the use of the recent versions of the HITRAN spectroscopic database differ almost by 2%; for the carbon dioxide, the lesser difference is observed.