

## Влияние перекрывания спектров поглощения атмосферных газов на восстановление общего содержания метана в атмосфере по пропусканию в диапазоне 1,6–1,7 мкм

Т.Ю. Чеснокова, Ю.В. Воронина, Ю.Н. Пономарев, В.А. Капитанов\*

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН  
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1*

Поступила в редакцию 1.12.2009 г.

Исследуется влияние спектральных линий атмосферных газов на восстановление концентрации метана из измерений спектра солнечного излучения в спектральном диапазоне 1,6–1,7 мкм. Проведенное моделирование функции пропускания атмосферы для различных вертикальных профилей концентрации метана и этилена показало необходимость учета спектральных линий поглощения этилена в радиационных расчетах в этом диапазоне в дополнение к обычно учитываемым газам  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ .

*Ключевые слова:* молекулярное поглощение, общее содержание метана, атмосфера; *molecular absorption, methane column amount, atmosphere.*

### Введение

Содержание метана, основного компонента природного газа, увеличилось в атмосфере Земли в 2 раза со времен промышленной революции [1]. Хотя концентрация метана в атмосфере значительно меньше, чем концентрация углекислого газа, он гораздо эффективнее задерживает солнечное тепло. Согласно исследованиям [2] вклад удвоения атмосферной концентрации метана в радиационный нагрев атмосферы может составлять примерно 38% от вклада удвоения концентрации углекислого газа. Увеличение концентрации метана в атмосфере может иметь серьезные последствия для климата Земли. Метан попадает в атмосферу как из естественных (болота, тундра, водоемы, насекомые), так и из антропогенных источников (рисовые поля, шахты, животные, горение биомассы и т.д.). В 2005 г. по результатам измерений спутникового спектрометра SCIAMACHY в области 1,63–1,67 мкм [3] было обнаружено повышенное содержание метана над территорией тропических лесов. Возможными причинами этого могут быть: эмиссия метана растениями [4]; неточность в параметрах линий  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CH}_4$  в спектроскопической базе данных HITRAN [5]; неучет влияния линий поглощения этилена [6]; неучет интерференции линий метана.

Неточное задание спектроскопических параметров атмосферных газов в радиационных расчетах может привести к значительным погрешностям в восстановленном значении концентрации метана.

\* Татьяна Юрьевна Чеснокова; Юлия Викторовна Воронина (yulia@iao.ru); Юрий Николаевич Пономарев (yuron@iao.ru); Венедикт Андреевич Капитанов (kvan@asd.iao.ru).

В работе [7] показано, что между модельным и атмосферным спектром излучения, измеренного в надир спутниковым спектрометром SCIAMACHY в области 1,63–1,67 мкм, наблюдаются различия, достигающие 6%. Возможной причиной расхождения может быть неточность в параметрах линий водяного пара в спектроскопической базе данных HITRAN, а также неучет слабых линий  $\text{H}_2\text{O}$ , отсутствующих в этой базе данных.

Использование уточненной базы данных Vx1-Reims [8] по параметрам линий  $\text{H}_2\text{O}$  в этом спектральном диапазоне позволяет уменьшить различие между модельным и измеренным спектрами, особенно для тропической атмосферы, где большое содержание водяного пара. Расхождения между модельными и измеренными спектрами излучения по данным спектрометрических измерений со спутника GOSAT также были уменьшены при использовании уточненной базы данных по линиям метана в области 1,67 мкм [9]. Но расхождения полностью устранить не удалось.

Исследования [10–14] показали, что параметров линий поглощения, содержащихся в спектроскопических базах данных HITRAN и GEISA [15], недостаточно для точного моделирования спектров поглощения. Значительные отклонения измеренных спектров от спектров, рассчитанных как сумма линий с контуром Фойгта или Лоренца, наблюдаются и в лабораторных [10–14], и в атмосферных [11, 12, 16] условиях. Различия достигают 100% и более на отдельных спектральных участках. Это вызвано интерференцией линий поглощения, которая начинает проявляться даже при атмосферных давлениях. В работах [17–19] проведены исследования интерференции линий  $\text{CO}_2$  и предложены методы ее учета при расчете радиационного переноса.

Для молекулы  $\text{CH}_4$  подобные исследования были начаты недавно и охватывают лишь несколько узких спектральных интервалов в используемых спектральных диапазонах.

В работе [11] на основе лабораторных спектров метана в областях 3 и 8 мкм в диапазоне давлений (0–500 атм) и температур (170–300 К) была получена модель учета интерференции линий  $\text{CH}_4$ . Это позволило уменьшить различия между расчетным и измеренным спектром в несколько раз. В работе [12] исследовалась интерференция линий  $\text{CH}_4$  в измеренных спутниковым спектрометром эмиссионных спектрах в атмосферах Юпитера и Сатурна в спектральном диапазоне 7–10 мкм. Учет интерференции в этом диапазоне позволяет уменьшить различия между расчетным и измеренным потоками радиации в атмосфере Юпитера с 0,5 (10%) до 0,02 Вт/(м<sup>2</sup>·ср) (0,3%).

В исследованиях [20] показано, что неучет интерференции линий  $\text{CH}_4$  при решении обратной задачи определения концентрации метана из атмосферных лимбовых измерений спектра пропускания Фурье-спектрометром в области 3,4 мкм приводит к дополнительной погрешности 7% в восстановленном значении концентрации метана.

Наши предварительные лабораторные исследования обнаружили эффект интерференции в измеренных спектрах метана, проявляющихся при давлении от 0 до 1 атм в полосе 1,65 мкм [21].

Проведенные в работах [24, 25] исследования эмиссии газов растениями показали, что эмиссия метана растительностью незначительна, что подтверждается и в работах [22, 23], но обнаружено, что растения выделяют этилен в количествах, превосходящих среднее фоновое содержание. В настоящее время при восстановлении общего содержания метана в атмосфере по данным измерений наземных и спутниковых спектрометров в диапазоне спектра 1,63–1,67 мкм не учитывают поглощение излучения этиленом, так как информация по линиям поглощения  $\text{C}_2\text{H}_4$  отсутствует в спектроскопической базе данных HITRAN.

В настоящей статье дана оценка погрешности определения общего содержания метана, вызванной неучетом линий поглощения этилена в прямой задаче при моделировании атмосферного пропускания солнечного излучения в диапазоне 1,6–1,7 мкм.

## Моделирование атмосферного пропускания

Для оценки влияния неопределенностей спектроскопической информации по линиям поглощения атмосферных газов было проведено моделирование пропускания атмосферы методом *line-by-line* в спектральном диапазоне 1,6–1,7 мкм, где измеряет спутниковый спектрометр SCIAMACHY с тем же спектральным разрешением (1,48 нм). В этом спектральном диапазоне, который часто используется для определения содержания метана в атмосфере из измерений солнечного излучения, вместе со спектральными линиями поглощения метана присутст-

вуют линии  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$  и других атмосферных газов.

При моделировании атмосферного пропускания учитывалось поглощение газами  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  по данным HITRAN-2008, а поглощение этиленом – на основе экспериментальных данных по спектру поглощения [25, 26]. В расчетах применялись высотные профили концентрации газов  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  из метеомодели AFGL [27] для лета средних широт, а высотные профили концентрации этилена были взяты из работ [28, 29]. Профиль этилена в работе [28] был получен для области лесных пожаров, а в работе [29] – для обычных атмосферных городских условий. Высотные профили концентрации атмосферных газов, учитываемые при моделировании, показаны на рис. 1.

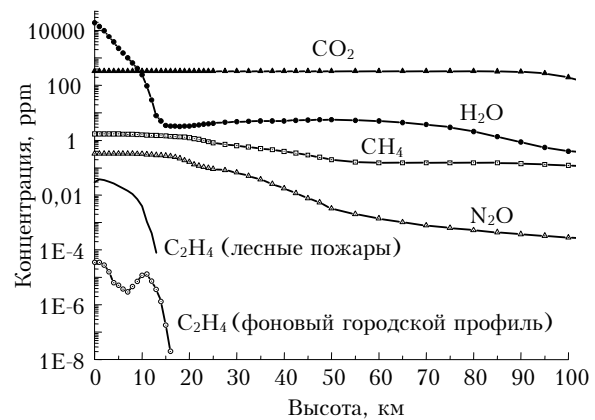


Рис. 1. Высотные профили концентрации атмосферных газов

Атмосферное пропускание рассчитывалось по формуле

$$T(\nu, \varphi) = \exp \left[ - \left( \frac{1}{\cos \varphi} \right) \int_0^{H_a} \alpha(\nu, z) dz \right].$$

Здесь  $\nu$  – волновое число, см<sup>-1</sup>;  $\varphi$  – зенитный угол Солнца;  $H_a$  – верхняя граница атмосферы;  $\alpha$  – коэффициент поглощения, который определялся как  $\alpha(\nu, z) = \alpha_{gas}(\nu, z) + \alpha_{C_2H_4}(\nu, z)$ , где  $\alpha_{gas}(\nu, z)$  – коэффициент поглощения газами  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ;  $\alpha_{C_2H_4}(\nu, z)$  – коэффициент поглощения этиленом.

Поглощение газами  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  рассчитывалось методом *line-by-line*. Метод прямого интегрирования *line-by-line* предполагает вычисление коэффициента поглощения на частоте  $\nu$  суммированием вкладов от всех рассматриваемых линий в спектральном диапазоне [30–33]:

$$\alpha_{gas}(\nu, z) = \sum_{i,j} S_{ij}(z) f(\nu_{ij}, \nu, z) \rho_j(z),$$

где  $\nu_{ij}$ ,  $S_{ij}$  – центр и интенсивность  $i$ -й линии  $j$ -го газа;  $\rho_j(z)$  – концентрация  $j$ -го газа;  $f(\nu_{ij}, \nu, z)$  – функция, описывающая форму контура линии поглощения.

Для расчета объемного коэффициента поглощения  $\alpha(\nu, z)$  использовались следующие параметры, содержащиеся в базе данных HITRAN:  $\nu_{ij}$  — частота перехода в размерности,  $\text{см}^{-1}$ ;  $S_{ij}$  — интенсивность линии при  $T_0 = 296 \text{ К}$ ,  $\text{см}^{-1}/(\text{мол} \cdot \text{см}^{-2})$ ;  $A_i$  — вероятность перехода,  $\text{Д}^2$ ;  $\gamma_{oi}$  — полуширина линии в случае уширения воздухом при  $296 \text{ К}$ ,  $\text{см}^{-1}/\text{атм}$ ;  $\gamma_{si}$  — полуширина линии в случае самоуширения при  $296 \text{ К}$ ,  $\text{см}^{-1}/\text{атм}$ ;  $E_i$  — энергия нижнего состояния колебательно-вращательного перехода,  $\text{см}^{-1}$ ;  $m_i$  — коэффициент температурной зависимости полуширины;  $\Delta\nu$  — сдвиг центра линии давлением воздуха,  $\text{см}^{-1} \cdot \text{атм}^{-1}$ .

В базе данных HITRAN интенсивность спектральной линии  $S_i$  приведена в пересчете на одну молекулу при температуре  $296 \text{ К}$ . Для того чтобы пересчитать на другие температуры, следует использовать выражение

$$S_i(T) = S_i(T_0) \frac{Q_{VR}(T_0) \exp(-E_i/kT) [1 - \exp(-h\nu_i/kT)]}{Q_{VR}(T) \exp(-E_i/kT_0) [1 - \exp(-h\nu_i/kT_0)]},$$

где  $Q_{VR}(T)$  — колебательно-вращательная сумма, которая зависит от температуры воздуха;  $h$  — по-

стоянная Планка;  $c$  — скорость света;  $k$  — постоянная Больцмана. Для пересчета интенсивностей использовалось значение колебательно-вращательной суммы из базы данных HITRAN-2008.

Коэффициент поглощения этилена определялся как

$$\alpha_{\text{C}_2\text{H}_4}(\nu, z) = \sigma(\nu)n(z),$$

где  $\sigma$  — сечения поглощения этилена, полученные экспериментально;  $n$  — концентрация этилена.

Спектр поглощения этилена, использованный для моделирования, был получен на диодном лазерном спектрометре ближнего ИК-диапазона с двумя резонансными оптико-акустическими детекторами в области  $6035\text{--}6200 \text{ см}^{-1}$  [26]. Спектральное разрешение спектрометра составляло  $2 \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-1}$ , предельная чувствительность —  $4 \cdot 10^{-23} \text{ см}^2/\text{мол}$ . В спектре зарегистрировано более 24000 линий  $\text{C}_2\text{H}_4$ , что значительно больше, чем число линий поглощения метана, попадающих в тот же диапазон.

Была рассчитана оптическая толщина атмосферных газов в спектральной области  $1,6\text{--}1,7 \text{ мкм}$  для метеомодели лета средних широт и двух профилей  $\text{C}_2\text{H}_4$  (рис. 2).

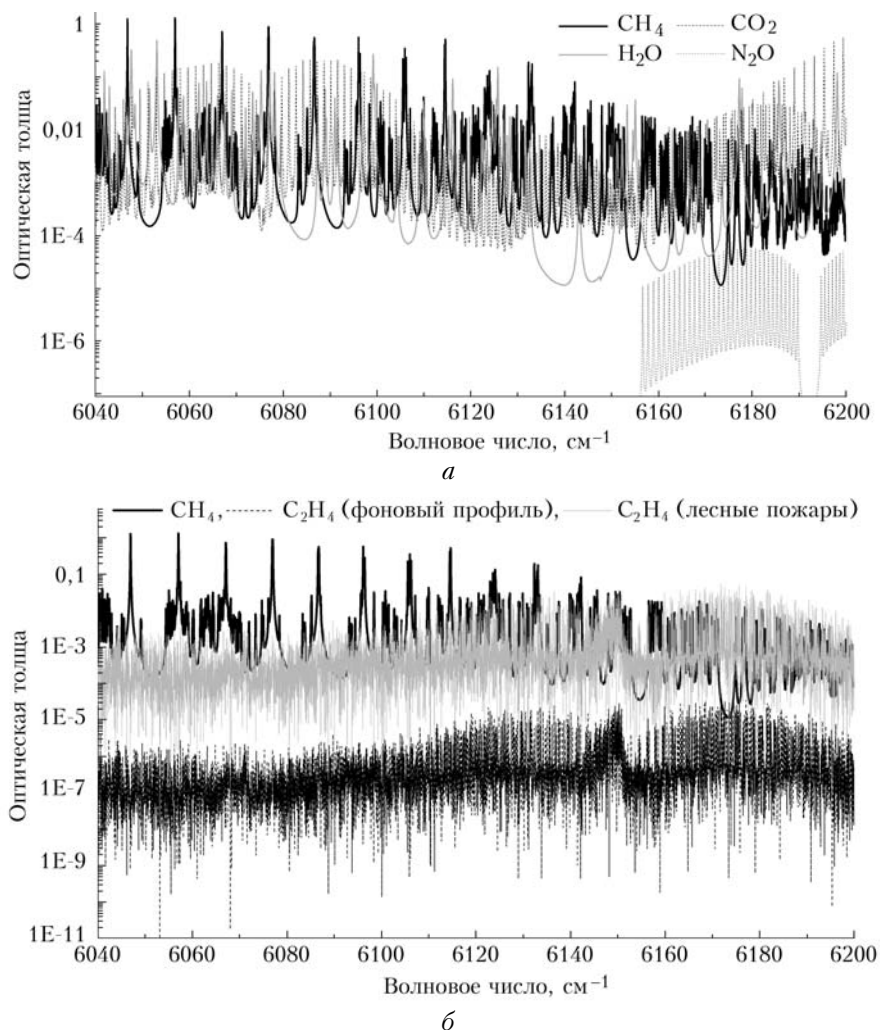


Рис. 2. Оптическая толщина атмосферных газов для метеомодели лета средних широт (а) и двух профилей  $\text{C}_2\text{H}_4$  (б)

На рис. 3 показано различие функций пропускания, вычисленных на вертикальной атмосферной трассе от 0 до 100 км с учетом различных профилей концентраций метана и этилена.

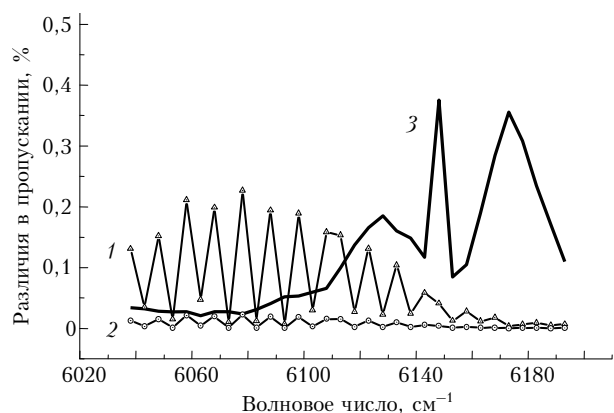


Рис. 3. Различия функций пропускания атмосферы, рассчитанных при различных высотных профилях концентрации метана и этилена: 1 — увеличение концентрации  $\text{CH}_4$  на 10%; 2 — увеличение концентрации  $\text{CH}_4$  на 1%; 3 — замена городского профиля концентрации  $\text{C}_2\text{H}_4$  на профиль лесных пожаров

При равномерном увеличении концентрации метана в вертикальном профиле на 10% по сравнению с исходным AFGL-профилем различие в атмосферном пропускании составило не более 0,25% в диапазоне  $6025\text{--}6200\text{ см}^{-1}$  ( $1,61\text{--}1,66\text{ мкм}$ ), а при увеличении концентрации метана на 1% пропускания различаются всего на 0,023%. Соответственно, чтобы восстанавливать концентрацию метана с погрешностью менее 1%, нужно рассчитывать атмосферное пропускание с погрешностью не более 0,02%. При этом атмосферное пропускание, вычисленное с профилями этилена из работ [28, 29], различается почти на 0,4%.

### Влияние линий этилена на определение общего содержания метана

Была рассмотрена модельная задача восстановления общего содержания метана из измерений прошедшего через всю атмосферу солнечного излучения в диапазоне  $1,61\text{--}1,67\text{ мкм}$  со спектральным разрешением  $1,48\text{ нм}$ . Обратная задача определения общего содержания метана решалась методом Левенберга–Марквардта. В таблице приведены погрешности определения общего содержания метана в атмосфере ( $\Delta\text{CH}_4$ ), вызванные неучетом линий этилена в прямой задаче.

Для случая, когда спектральный прибор измеряет в надир, неучет линий этилена в прямой задаче приводит к дополнительной погрешности определения содержания метана до 0,06%, если в расчетах использовался городской фоновый профиль этилена [12]. Использование в расчетах увеличенного в 10 раз городского профиля этилена (напри-

мер, профиля этилена, полученного в работе [34]), приведет к погрешности 0,62% при определении содержания метана.

**Погрешность восстановления общего содержания метана, вызванная неучетом линий этилена в прямой задаче при различных высотных профилях концентрации этилена в диапазоне частот  $6038\text{--}6193\text{ см}^{-1}$**

Профили $\text{C}_2\text{H}_4$ в прямой задаче					
городской		лесные пожары		городской ( $\cdot 10$ )	
$\text{CH}_4$ , ppm	$\Delta\text{CH}_4$	$\text{CH}_4$ , ppm	$\Delta\text{CH}_4$	$\text{CH}_4$ , ppm	$\Delta\text{CH}_4$
1,591	0,06%	2,94	84%	1,60	0,62%

Если измерения метана проводятся в столбе атмосферы над территорией лесных пожаров (в атмосфере с большим содержанием этилена [28]), то линии этилена следует учитывать в расчетах пропускания солнечного излучения. Их неучет в данном случае может привести к погрешности в определении содержания метана свыше 80%.

### Заключение

Таким образом, при восстановлении общего содержания метана в атмосфере по данным спектрометров, работающих в спектральном диапазоне  $1,6\text{--}1,7\text{ мкм}$ , необходимо учитывать вклад линий поглощения этилена, а также использовать уточненные данные по параметрам спектральных линий  $\text{CH}_4$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . Это может привести к уменьшению определяемого спутниковыми спектрометрами значения концентрации метана над территориями с повышенным содержанием этилена (области лесных пожаров, тропические леса).

1. <http://www.greenparty.ua/>
2. Фурсов К.М., Чеснокова Т.Ю. Влияние вариаций концентрации  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$  на потоки длинноволновой радиации в атмосфере земли // Оптика атмосф. и океана. 1999. Т. 12. № 9. С. 790–795.
3. Frankenberg C., Meirink J.F., Weele M. van, Platt U., Wagner J.T.G. Assessing methane emission from global space-borne observations // Science. 2005. V. 308. N 5724. P. 1010–1014.
4. Keppler F., Hamilton J.T.G., Braz M., Rockmann T. Methane emissions from terrestrial plants under aerobic conditions // Nature (Gr. Brit.). 2006. V. 439. N 7073. P. 187–191.
5. <http://www.cfa.harvard.edu/HITRAN/>
6. Чеснокова Т.Ю., Воронина Ю.В., Пономарев Ю.Н., Капитанов В.А. Влияние спектральных линий мешающих газов в диапазоне  $1,61\text{--}1,67\text{ мкм}$  на восстановление общего содержания метана в атмосфере // Материалы XVI Междунар. симпоз. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2009. С. 15–18.
7. 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. N 15.
8. Jenouvrier A., Daumont L., Regalia-Jarlot L., Tyuterev V.G., Carleer M., Vandaele A.C., Mikhailenko S., Fally S. Fourier transform measurements of water vapor line parameters in the  $4200\text{--}6600\text{ см}^{-1}$  region // J.

- Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer. 2007. V. 105. N 2. P. 326–355.
9. Lyulin O.M., Nikitin A.V., Perevalov V.I., Morino I., Yokota T., Ryoichi K., Takeshi W. Measurements of N<sub>2</sub>- and O<sub>2</sub>-broadening and shifting parameters of methane spectral lines in the 5550–6236 cm<sup>-1</sup> region // J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer. 2009. V. 110. N 9–10. P. 654–668.
  10. Smith M.A.H., Chris Benner D., Predoi-Cross A., Malathy Devi V. Multispectrum analysis of <sup>12</sup>CH<sub>4</sub> in the ν<sub>4</sub> band: I. Air-broadened half widths, pressure-induced shifts, temperature dependences and line mixing // J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer. 2009. V. 110. N 9–10. P. 639–653.
  11. Tran H., Flaud P.-M., Gabard T., Hase F., von Clarmann T., Camy-Peyret C., Payan S., Hartmann J.-M. Model, software and database for line-mixing effects in the ν<sub>3</sub> and ν<sub>4</sub> bands of CH<sub>4</sub> and tests using laboratory and planetary measurements—I: N<sub>2</sub> (and air) broadenings and the earth atmosphere // J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer. 2006. V. 101. N 2. P. 284–305.
  12. Tran H., Flaud P.-M., Fouchet T., Gabard T., Hartmann J.-M. Model, software and database for line-mixing effects in the ν<sub>3</sub> and ν<sub>4</sub> bands of CH<sub>4</sub> and tests using laboratory and planetary measurements—II: H<sub>2</sub> (and He) broadening and the atmospheres of Jupiter and Saturn // J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer. 2006. V. 101. N 2. P. 306–324.
  13. Pine A.S., Gabard T. Multispectrum fits for line mixing in the ν<sub>3</sub> band Q branch of methane // J. Mol. Spectrosc. 2003. V. 217. N 1. P. 105–114.
  14. Grigoriev I.M., Filippov N.N., Tonkov M.V., Gabard T., Le Doucen R. Estimation of line parameters under line mixing effects: the ν<sub>3</sub> band of CH<sub>4</sub> in helium // J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer. 2001. V. 69. N 2. P. 182–204.
  15. Jacquinet-Husson N., Scott N.A., Chedin A., Crepeau L., Armante R., Capelle V., Orphal J., Cous-tenis A., Boonne C., Poulet-Crovisier N., Barbe A., Birk M., Brown L.R., Camy-Peyret C., Claveau C., Chance K., Christidis N., Clerbaux C., Coheur P.F., Dana V., Daumont L., De Backer-Barilly M.R., Lonardo G.Di., Flaud J.-M., Goldman A., Hamdouni A., Hess M., Hurley M.D., Jacquemart D., Kleiner I., Kopke P., Mandin J.Y., Massie S., Mikhailenko S., Nemtchinov V., Nikitin A., New-eham D., Perrin A., Perevalov V.I., Pinnock S., Regalia-Jarlot L., Rinsland C.P., Rublev A., Schreier F., Schult L., Smith K.M., Tashkun S.A., Teffo J.L., Toth R.A., Tyuterev V.I.G., Vander Auwera J., Varanasi P., Wagn G. The GEISA spectroscopic database: Current and future archive for Earth and planetary atmosphere studies // J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer. 2008. V. 109. N 6. P. 1043–1059.
  16. Pieroni D., Hartmann J.M., Camy-Peyret C., Jeseck P., Payan S. Influence of line mixing on absorption by CH<sub>4</sub> in atmospheric balloonborne spectra near 3.3 mm // J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer. 2001. V. 68. N 2. P. 117–133.
  17. Rodrigues R., Jucks K.W., Lacombe N., Blanquet G., Walrand J., Traub W.A., Khalil B., Le Doucen R., Valentin A., Camy-Peyret C., Bonamy L., Hartmann J.M. Model, software, and database for computation of line-mixing effects in infrared Q-branches of atmospheric CO<sub>2</sub> I. Symmetric isotopomers // J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer. 1999. V. 61. N 2. P. 153–184.
  18. Jucks K.W., Rodrigues R., Le Doucen R., Claveaux C., Hartmann J.M. Model, software, and database for computation of line-mixing effects in infrared Q branches of atmospheric CO<sub>2</sub>. II. Minor and asymmetric isotopomers // J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer. 1999. V. 63. N 1. P. 31–48.
  19. Niro F., Jucks K.W., Hartmann J.M. Spectra calculations in central and wing regions of CO<sub>2</sub> IR bands between 10 and 20 mm. IV: Software and database for the computation of atmospheric spectra // J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer. 2005. V. 95. N 4. P. 469–481.
  20. Mondelain D., Payan S., Wenping Deng, Camy-Peyret C., Hurtmans D., Mantz A.W. Measurement of the temperature dependence of line mixing and pressure broadening parameters between 296 and 90 K in the ν<sub>3</sub> band of <sup>12</sup>CH<sub>4</sub> and their influence on atmospheric methane retrievals // J. Mol. Spectrosc. 2007. V. 244. Iss. 2. P. 130–137.
  21. Капитанов В.А., Осипов К.Ю., Пономарев Ю.Н. Сильная интерференция спектральных линий метана в полосе 1,65 мкм // XVI Междунар. симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 12–15 октября 2009 г.
  22. Dueck T.A., deVisser R., Poorter H., Persijn S., Corri-ssen A., deVsser W., Schapendonk A., Verhagen J., Snel J., Harren F.J.M., Ngai A.K.Y., Verstappen F., Bouwemeester H., Voese- nek L.A.C.J., van der Werf A. No evidence for substantial aerobic methane emission by terrestrial plants: a <sup>13</sup>C-labelling approach // New Phytologist. 2007. V. 175. N 1. P. 29 – 35.
  23. Nisbet R.E.R., Fisher R., Nimmo R.H., Bendall D.S., Crill P.M., Gallego-Sala A.V., Hornbrook E.R.C., López-Juez E., Lowry D., Nisbet P.B.R., Shuck- burgh E.F., Sriskantharajah S., Howe C.J., Nisbet E.G. Emission of methane from plants // Proc. Roy. Soc. B7. 2009. V. 276. N 1660. P. 1347–1354.
  24. Азеев Б.Г., Капитанов В.А., Пономарев Ю.Н., Са- пожникова В.А. Исследования эмиссии растениями углекислого газа, этилена, метана методами лазерного газоанализа // Оптика атмосф. и океана. 2007. Т. 20. № 9. С. 795–798.
  25. Капитанов В.А., Пономарев Ю.Н. Измерения эмис- сии метана растениями в аэробных условиях лазерным метанометром // Оптика атмосф. и океана. 2006. Т. 19. № 5. С. 399–403.
  26. Капитанов В.А., Никуфорова О.Ю., Пономарев Ю.Н. Оценка систематических погрешностей определения концентрации метана с помощью диодного лазерного детектора // Оптика атмосф. и океана. 2008. Т. 21. № 5. С. 432–440.
  27. Anderson G.P., Clough S.A., Kneizys F.X., Chet- wynd J.H., Shettle E.P. AFGL-TR-86-0110, AFGL (OPI). Hanscom AFB. MA 01736.
  28. Rinsland C.P., Paton-Walsh C., Jones N.B., Grif- fith D.W.T., Goldman A., Wood S.W., Chiou L., Meier A. High spectral resolution solar absorption measurements of ethylene (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) in a forest fire smoke plume using HITRAN parameters: Tropospheric vertical profile retrieval // J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer. 2005. V. 96. N 2. P. 301–309.
  29. Marecal V., Riviere E.D., Held G., Cautenet S., Freitas S. Modelling study of the impact of deep con- vection on the UTLS air composition – Part I: Analysis of ozone precursors // Atmos. Chem. Phys. Discuss. 2005. V. 5. N 5. P. 9127–9168.
  30. Мицель А.А., Пташник И.В., Фирсов К.М., Фо- мин Б.А. Эффективный метод полинейного счета про-

- пускания поглощающей атмосферы // Оптика атмосф. и океана. 1995. Т. 8. № 10. С. 1547–1548.
31. *Fomin B.A.* Effective line-by-line technique to compute radiation absorption in gases / Preprint IAE-5658/1. Moscow. Russian Research Center «Kurchatov Institute». 1993. 13 p.
32. *Edwards D.P.* GENLN2: A general *line-by-line* atmospheric transmittance and radiance model. Version 3.0 // Description and user's guide: NCAR Technical Note. 1992. NCAR/TN-367+STR. Boulder. Colorado. 1992.
33. *Mitsel A.A., Firsov K.M.* A fast line-by-line method // J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer. 1995. V. 54. N 3. P. 549–557.
34. *Ayers G.P., Gillett R.W.* Isoprene Emissions from Vegetation and Hydrocarbon Emissions from Bushfires in Tropical Australia // J. Atmos. Chem. 1988. V. 7. P. 177–190.

*T.Yu. Chesnokova, Yu.V. Voronina, Yu.N. Ponomarev, V.A. Kapitanov.* **Influence of atmospheric gases spectra overlapping on the atmospheric methane total amount retrieval from transmission in the 1.6–1.7  $\mu\text{m}$  spectral region.**

The influence of atmospheric gases spectral lines on the methane concentration retrieval from solar radiation measurements in the 1.6–1.7  $\mu\text{m}$  spectral region is investigated. The modeling of atmospheric transmission function with different methane and ethylene atmospheric concentration profiles showed a necessity of taking into account the ethylene spectral absorption lines in radiative calculations in this spectral region in addition to usually accountable  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  gases.