

АТМОСФЕРНАЯ РАДИАЦИЯ, ОПТИЧЕСКАЯ ПОГОДА И КЛИМАТ

УДК 551.521.3, 535.343.4, 551.581.212

**Моделирование потоков солнечного излучения
в атмосфере с использованием различных моделей
континуального поглощения водяного пара
в типичных условиях Западной Сибири**

Т.Ю. Чеснокова, Т.Б. Журавлева, И.В. Пташник, А.В. Ченцов*

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

Поступила в редакцию 4.10.2012 г.

Проведен расчет потоков суммарной, прямой и диффузной солнечной радиации в диапазоне 0,2–5 мкм в безоблачной атмосфере для различных моделей континуального поглощения водяного пара для характерных летних и зимних условий Западной Сибири. Показано, что модель континуального поглощения CAVIAR, основанная на новых экспериментальных данных, обуславливает более высокую чувствительность расчетных потоков солнечной радиации к общему содержанию водяного пара в атмосфере по сравнению с наиболее часто используемой моделью MT_SKD. Это вызвано тем, что континуальное поглощение водяного пара в модели CAVIAR в среднем на порядок превышает предсказания модели MT_SKD в окнах прозрачности ближнего ИК-диапазона.

Ключевые слова: континуум водяного пара, молекулярное поглощение, атмосферный радиационный перенос; water vapor continuum, molecular absorption, atmospheric radiative transfer.

Введение

Водяной пар играет важную роль в формировании радиационного баланса Земли. Кроме поглощения уходящего теплового излучения, водяной пар также оказывает заметное влияние на перенос солнечной радиации в атмосфере, меняя величину альбедо планеты и температуру подстилающей поверхности [1, 2]. В ближнем ИК-диапазоне содержатся сильные полосы многочисленных линий поглощения водяного пара и окна прозрачности, в которых при слабом вкладе линий существенную роль играет медленно меняющееся по частоте континуальное поглощение водяного пара.

В настоящее время наиболее часто в атмосферных радиационных расчетах используется полуэмпирическая модель континуума MT_SKD [3]. Параметры этой модели определяются из результатов подгонки к экспериментальным данным в области среднего ИК-диапазона и экстраполируются далее на весь ближний ИК и видимый диапазоны спектра. В качестве теоретической основы в этой модели постулируется столкновительно-индуцированное поглощение (в полосах) и поглощение дальними крыльями мономера воды (между полосами). В экспериментальных работах [4, 5] по измерению континуума

в окне 4 мкм методом Фурье-спектрометрии показано, что модель MT_SKD значительно, на 1–2 порядка, занижает величину континуального поглощения. Эти отклонения проявляются не только в величине, но и температурной, и спектральной зависимости континуума. Согласно результатам измерений CAVIAR [5, 6] (Continuum Absorption in Visible and Infrared and its Atmospheric Relevance) континуальное поглощение водяного пара *во всех окнах прозрачности* ближнего ИК-диапазона в среднем на порядок превышает предсказания модели MT_SKD.

Такое поведение континуума может быть причиной более высокой чувствительности результатов моделирования потоков радиации к особенностям профиля концентрации водяного пара (поскольку, в частности, континуальное поглощение в окнах прозрачности пропорционально квадрату давления водяного пара и имеет сильную температурную зависимость). Кроме того, окна прозрачности используются для восстановления характеристик атмосферного аэрозоля методами дистанционного зондирования. Неточности в задании модели континуума водяного пара при решении обратной задачи могут привести к погрешностям восстановления аэрозольной оптической толщи (АОТ) и других атмосферных характеристик.

В настоящей статье, являющейся продолжением наших исследований [7], представлено сравнение результатов моделирования широкополосных потоков солнечной радиации, рассчитанных с использованием модели MT_SKD, и новых данных CAVIAR

* Татьяна Юрьевна Чеснокова (ches@iao.ru); Татьяна Борисовна Журавлева (ztb@iao.ru); Игорь Васильевич Пташник (riv@iao.ru); Алексей Владимирович Ченцов (alex86@pochta.ru).

для различных атмосферных профилей концентрации водяного пара и вариаций аэрозольной оптической толщи, типичных для условий Западной Сибири.

Учет поглощения атмосферными газами

Коэффициент молекулярного поглощения на частоте ν может быть представлен в виде суммы двух компонент: селективного (за счет вклада линий поглощения атмосферных газов) K_{sel} и континуально-го K_{cont} коэффициентов поглощения:

$$K_{gas}(\nu) = K_{sel}(\nu) + K_{cont}(\nu).$$

Селективное газовое поглощение рассчитывается суммированием вклада линий поглощения атмосферных газов методом line-by-line [8]. Параметры линий берутся из спектроскопических банков данных, например из базы данных HITRAN [9]. Что касается континуального поглощения водяным паром, то в задачах переноса солнечного излучения в атмосфере широко используются модели, названные сокращенно по фамилиям их авторов СКД (Clough–Kneizys–Davies) [10] и более поздние версии этой модели MT_CKD (Mlawer–Tobin–Clough–Kneizys–Davies) [3, 11]. Популярность этих моделей связана с тем, что они регулярно корректируются и их новые версии доступны для использования (<http://rtweb.aer.com>). Континуум в рамках моде-

ли MT_CKD формально определяется как разность между экспериментально измеренным и теоретическим коэффициентами поглощения, рассчитанными с использованием фойтговского контура линий, причем каждая спектральная линия учитывается в пределах интервала $\pm 25 \text{ см}^{-1}$ от центра линии.

В экспериментальных измерениях CAVIAR [5, 6] было обнаружено значительное превышение величины континуума водяного пара во всех окнах прозрачности ближнего ИК-диапазона по сравнению с модельными значениями MT_CKD. Новые результаты и полученная температурная зависимость континуума дают основание предположить, что доминирующий вклад в континуальное поглощение в окнах ближнего ИК-диапазона вносят димеры H_2O , а не далекие крылья линий мономера, как считается в настоящее время, в том числе и авторами модели MT_CKD. На рис. 1 приведено сравнение вклада модели континуума MT_CKD2.4 и данных CAVIAR в атмосферную оптическую толщину на вертикальной трассе в пределах всей атмосферы для летних условий умеренных широт.

Как видно из рис. 1, вклад континуума CAVIAR становится заметным в окнах прозрачности. Согласно оценкам [5, 6] использование новых данных может привести к увеличению поглощения солнечной радиации в молекулярной (с учетом рэлеевского рассеяния) тропической атмосфере на 1,5–2%.

При расчетах приходящей и уходящей радиации на разных атмосферных уровнях z используется традиционный подход [13], согласно которому

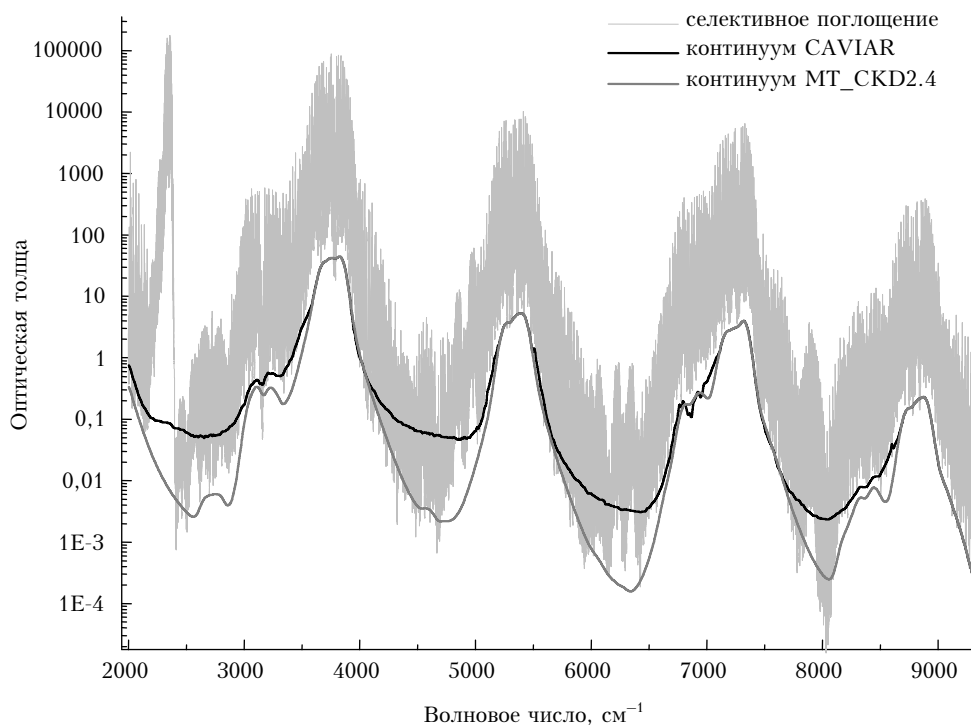


Рис. 1. Атмосферная оптическая толщина селективного газового поглощения и двух моделей континуального поглощения водяного пара MT_CKD2.4 [3] и CAVIAR [5, 6] (континуальное поглощение, обусловленное уширением воздуха и самоуширением). Спектральное разрешение $0,1 \text{ см}^{-1}$. Метеомодель – лето средних широт AFGL [12]

широкополосные потоки излучения F представляются суммой потоков в отдельных спектральных интервалах:

$$F(z) = \sum_{i=1}^M F_i(z),$$

где M – количество полос $\Delta\lambda = (\lambda_i, \lambda_{i+1})$, λ – длина волны, $i = 1, \dots, M-1$, $\lambda_1 = 0,2$ мкм, $\lambda_M = 5$ мкм. Разбиение 0,2–5,0 мкм на отдельные полосы выбрано в соответствии с результатами [14]: $M = 30$, в том числе 5 полос в ультрафиолетовой, 6 – в видимой и 19 – в ближней ИК-областях спектра. В пределах каждого интервала оптические характеристики аэрозоля, молекулярного рассеяния и альbedo подстилающей поверхности полагались постоянными.

Вычисление $F_i(z)$ выполняется методом Монте-Карло (прямое моделирование). Учет молекулярного поглощения в пределах спектральной полосы $\Delta\lambda$ реализован согласно подходу, подробно описанному в [15]. Суть его состоит в том, что траектории фотонов в молекулярно-аэрозольной атмосфере моделируются в среде *без учета молекулярного поглощения*, а при расчете потоков излучения на уровне $z = z^*$ используется статистическая оценка типа

$$\left(\sum_{i=1}^{N_{tr}} \sum_{j=1}^{m_i} T_{\Delta\lambda}(l_{ij}) \right) / N_{tr},$$

где $T_{\Delta\lambda}$ – функция пропускания атмосферными газами; N_{tr} – число траекторий фотонов; m_i – число пересечений фотоном плоскости $z = z^*$ в i -й траектории в направлении движения; l_{ij} – длина пути фотона в i -й траектории от точки на верхней границе атмосферы до j -го пересечения фотоном уровня $z = z^*$.

Для аппроксимации $T_{\Delta\lambda}$ использован метод « k -распределений» [7, 16–18]. Параметры разложения функции пропускания в ряд экспонент рассчитывались на основе базы данных HITRAN-2008 [9]. Учитывалось поглощение газами, присутствующими в метеомодели AFGL [12] (H_2O , CO_2 , O_3 , N_2O , CO ,

NO , O_2 и др.); в каждом интервале при аппроксимации функции пропускания было использовано по 10 квадратур Гаусса. Спектральный ход внеатмосферного солнечного излучения задавался согласно данным [19] и учитывался в виде свертки в эффективных коэффициентах поглощения, вычисленных методом « k -распределения» [7]. Важно отметить, что использование данного подхода для моделирования радиационных характеристик в каждом интервале позволяет решать уравнение переноса излучения только один раз, что существенно увеличивает эффективность метода расчета [15].

Результаты моделирования потоков солнечного излучения

Для оценки различий между новыми данными по континууму водяного пара CAVIAR и моделью MT_CKD мы выполнили моделирование суммарных, прямых и диффузных потоков излучения в условиях, характерных для г. Томска. Эти условия (общее содержание (ОС) водяного пара W , аэрозольная оптическая толщина) являются типичными для борельной зоны Западной Сибири. Профили температуры и влажности основаны на данных радиозондовых наблюдений за 2000–2009 гг. [20–22]. Общее содержание водяного пара и спектральная изменчивость АОТ задавались согласно данным многолетних фотометрических измерений [23], общее содержание озона – согласно данным сканера TOMS [24]. При моделировании радиационных характеристик использовались как средние значения общего влагосодержания, так и значения W , характеризующие диапазон его изменчивости в зимний и летний периоды (табл. 1).

В табл. 2 представлены результаты расчетов потоков солнечного излучения на поверхности Земли, полученных с использованием различных данных континуума водяного пара для молекулярной атмосферы без учета рэлеевского рассеяния.

Таблица 1

Значения общего содержания водяного пара, углекислого газа и озона, используемые в расчетах

Атмосферный газ	Метеомодель						
	Томск, зима			Томск, лето			CCMVal, тропики [25]
	минимум	среднее	максимум	минимум	среднее	максимум	
H_2O , г/см ²	0,1	0,25	0,4	1	2	3,1	4,9
CO_2 , ppm		380			380		380
O_3 , е.Д.		355			336		252

Таблица 2

Потоки излучения, приходящие на поверхность Земли в спектральном диапазоне 0,2–5 мкм. Газовая атмосфера. SZA = 60°

H_2O континуум	Приходящие потоки излучения для различных метеомоделей, Вт/м ²						
	Томск, зима, ОС H_2O			Томск, лето, ОС H_2O			CCMVal, тропики
	минимум	среднее	максимум	минимум	среднее	максимум	
MT_CKD2.4	599,46	585,54	577,20	556,81	538,67	525,57	515,30
CAVIAR	599,22	585,08	576,55	555,84	536,88	522,64	511,06
Различие, Вт/м ²	0,24	0,46	0,65	0,97	1,80	2,93	4,24

В летних условиях Сибири различие в потоках, вычисленных с континуумом CAVIAR и MT_CKD, может достигать $2,9 \text{ Вт/м}^2$ при зенитном угле Солнца $\text{SZA} = 60^\circ$. Для условий тропической атмосферы с большим содержанием водяного пара различие увеличивается до $4,2 \text{ Вт/м}^2$, что хорошо согласуется с величиной $\sim 5,1 \text{ Вт/м}^2$, полученной в [5] для условий $\text{SZA} = 0$, и составляет $0,8\%$ от приходящего на поверхность потока излучения.

Рассмотрим влияние моделей континуума водяного пара на радиационные потоки в *аэрозольно-молекулярной* атмосфере. Оптическая толщина аэрозоля на длине волны $0,55 \text{ мкм}$ $\tau_{0,55}^a$ была выбрана равной $0,15$, что соответствует модальному значению АОТ для летних и зимних условий г. Томска [26, 27]. Следует заметить, что высокие значения АОТ по сравнению с фоновыми могут соответствовать другому типу аэрозоля, следствием этого может стать изменение спектрального хода АОТ. Более того, другой тип аэрозоля (например, для условий Сибири – дымовой аэрозоль) характеризуется изменением соотношения рассеивающей и поглощающей компонент и, соответственно, изменением индикатрисы и альbedo однократного рассеяния аэрозоля. Подчеркнем, что мы не ставили своей целью исследование влияния различных моделей континуального поглощения при вариациях радиационных параметров аэрозоля, за исключением ослабления (АОТ). Поэтому при проведении радиационных расчетов показатель Ангстрема, индикатриса и альbedo однократного рассеяния аэрозоля оставались неизменными. Используемые нами модели аэрозоля и радиационные коды позволяют получить такие оценки, достаточно детальные на фоне общих закономерностей, что может являться предметом дальнейшего исследования. Спектральный ход альbedo подстилающей поверхности задавался согласно данным спутникового сканера MODIS для зимних и летних условий г. Томска [28]. Радиационные характеристики рассчитывались для диапазонов изменений зенитного угла Солнца: в летних условиях – 15 июля, в зимних – 15 января. Наименьшие значения SZA равнялись соответственно 35° (15 июля) и $77,65^\circ$ (15 января).

На рис. 2 приведена спектральная зависимость различий между суммарными приходящими потоками у поверхности Земли, вычисленными для двух различных моделей континуального поглощения.

В летних условиях наибольшее различие наблюдается в окне прозрачности $2,1 \text{ мкм}$, где при высоком влагосодержании большую роль играет континуум водяного пара. При уменьшении W и увеличении зенитного угла Солнца, что характерно для зимних условий, спектральный ход разности между потоками, вычисленными с разным континуумом водяного пара в области $2,2\text{--}2,4 \text{ мкм}$, меняется. Это вызвано уменьшением вклада континуума водяного пара при одновременном увеличении поглощения сильной полосой метана в диапазоне $2,2\text{--}2,4 \text{ мкм}$. При увеличении зенитного угла Солнца поглощение в наиболее сильных линиях метана насыщается (т.е. атмосферное пропускание в центрах этих линий

стремится к нулю), что уменьшает вклад континуального поглощения.

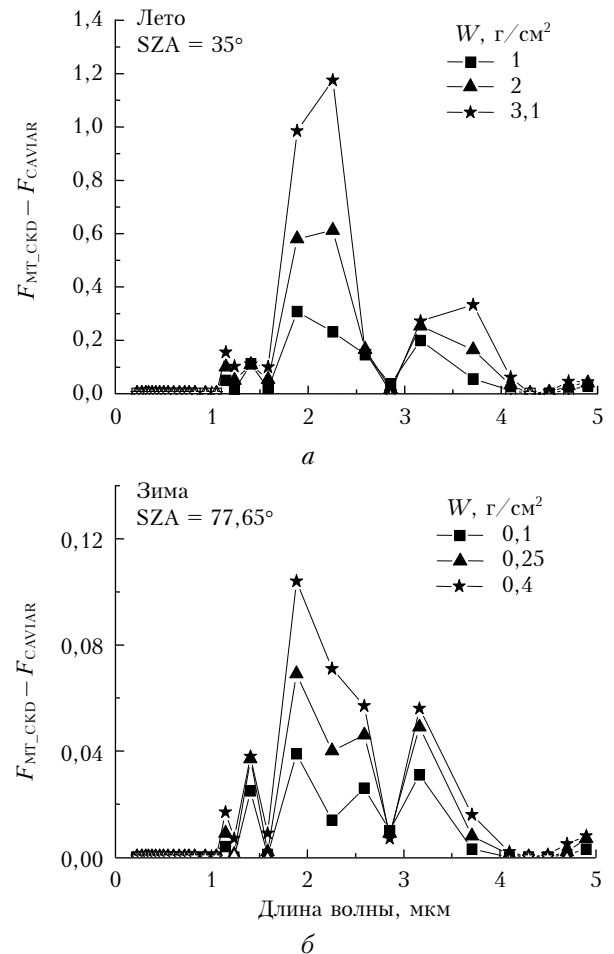


Рис. 2. Различия в суммарных приходящих потоках F (Вт/м^2) у поверхности, вычисленных с континуумом водяного пара MT_CKD и CAVIAR для летних (а) и зимних (б) метеоусловий г. Томска

Рассмотрим, насколько сильно изменяются интегральные по спектру радиационные характеристики R (потоки излучения на границах атмосферы и поглощение в столбе атмосферы) при использовании в расчетах различных моделей континуального поглощения. Для летних условий максимальное абсолютное различие в потоках суммарной радиации на уровне $z = 0$ наблюдалось при $\text{SZA} = 35^\circ$ и составило $3,6 \text{ Вт/м}^2$, для зимних условий – $0,4 \text{ Вт/м}^2$ при $\text{SZA} = 77^\circ$ (рис. 3, а, б), уменьшаясь с ростом зенитного угла Солнца.

На потоки нисходящей диффузной радиации у поверхности Земли и восходящие потоки на верхней границе атмосферы различие в моделях континуума водяного пара заметного влияния не оказывает (рис. 4). Относительное различие между суммарными потоками в летних условиях значительно возрастает при $\text{SZA} > 70^\circ$ (см. рис. 3, в и 4, б). В зимних условиях в пределах зенитных углов, наблюдающихся в это время на широте г. Томска, относительное различие меняется слабо (см. рис. 3, з).

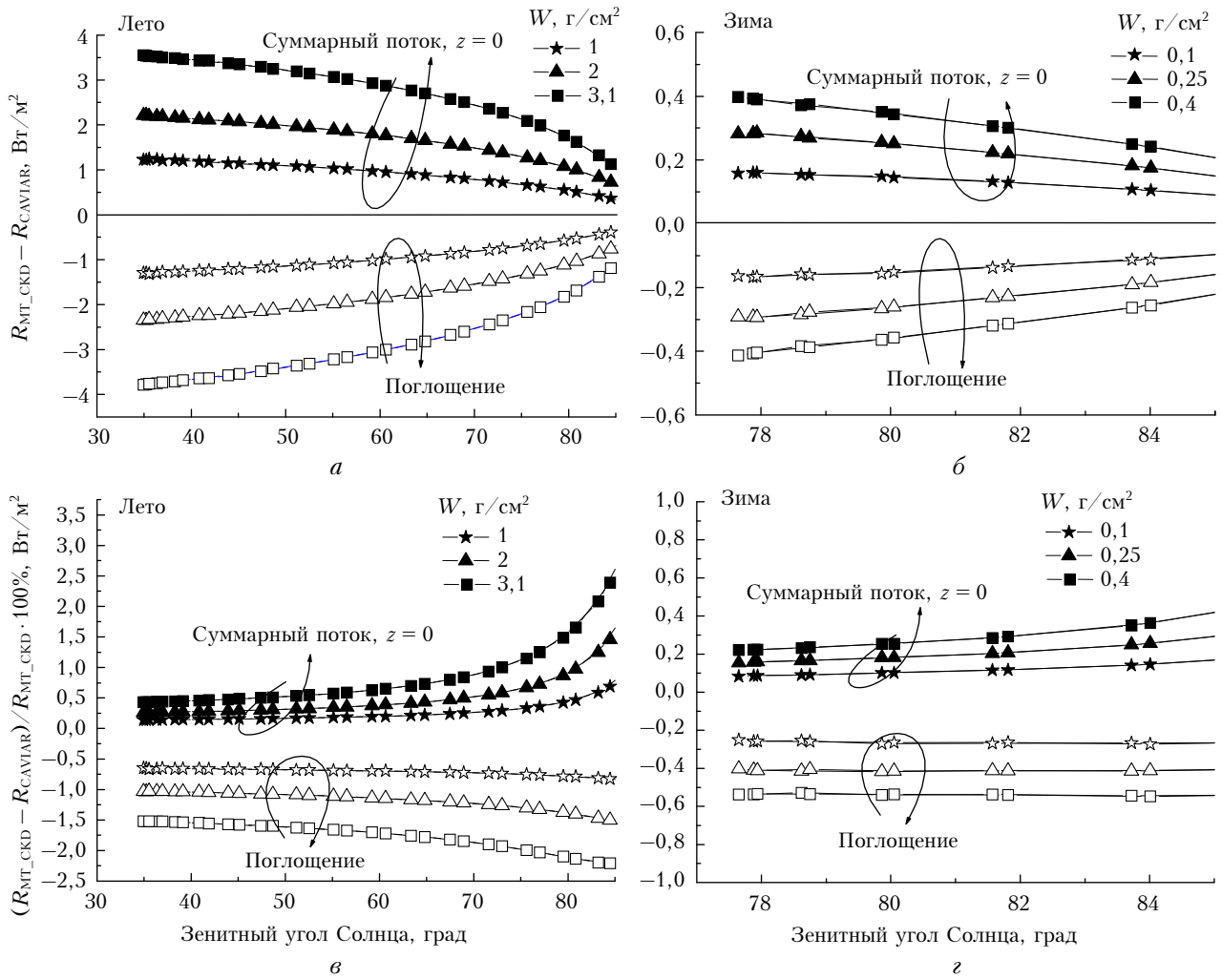


Рис. 3. Абсолютные (а, б) и относительные (в, г) различия между атмосферными радиационными характеристиками R , вычисленными с моделями континуума водяного пара CAVIAR и MT_CKD2.4 для различных зенитных углов Солнца (метеомодель г. Томска): темные символы – различие в суммарной радиации; светлые – различие в поглощении в столбе атмосферы

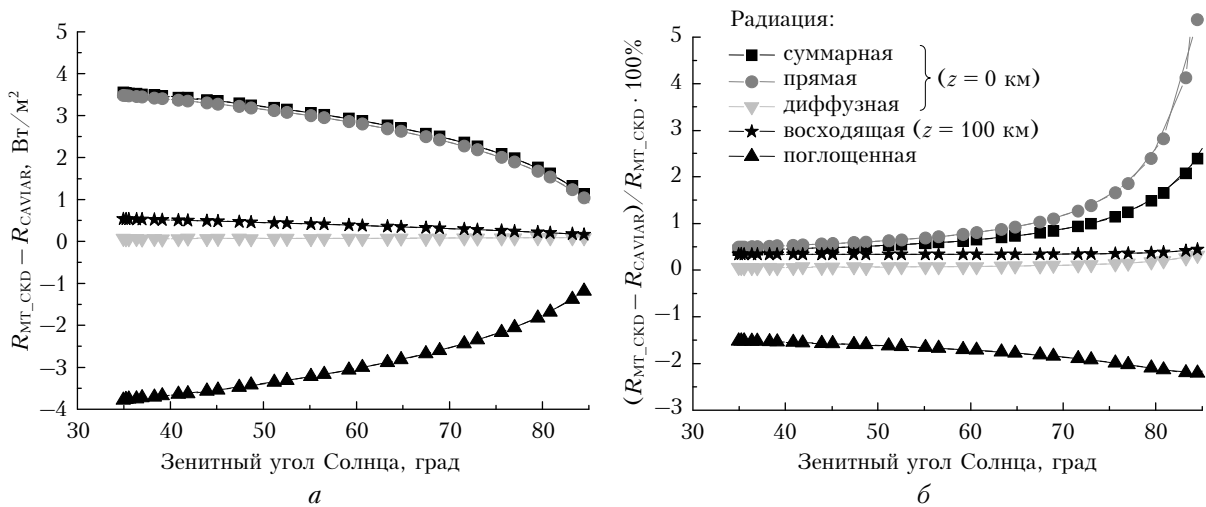


Рис. 4. Абсолютные (а) и относительные (б) различия между атмосферными радиационными характеристиками R , вычисленными с моделями континуума водяного пара CAVIAR и MT_CKD2.4 для различных зенитных углов Солнца. Метеомодель – лето г. Томска, $W = 3,1 \text{ г/см}^2$

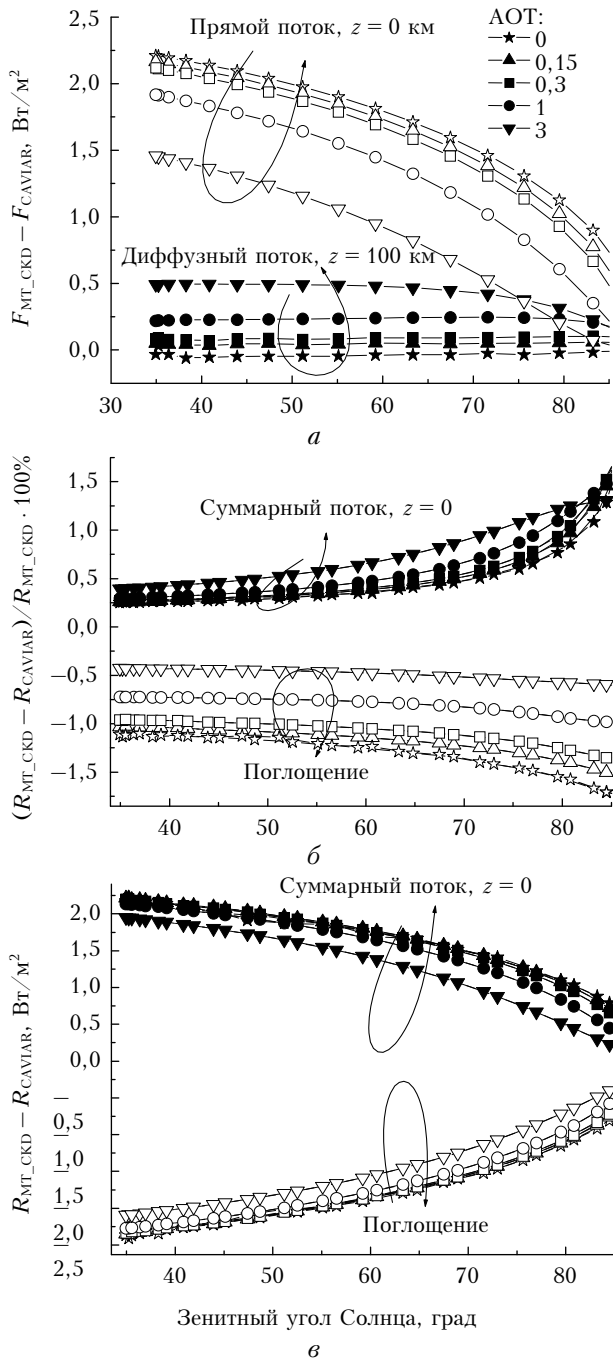


Рис. 5. Влияние аэрозольной оптической толщи на абсолютные (а, в) и относительные (б) различия между потоками солнечного излучения и в поглощении, вычисленными с моделями континуума водяного пара CAVIAR и MT_CKD2.4 для различных зенитных углов Солнца. Метеомодель – лето г. Томска, $W = 2 \text{ г/см}^2$: а – темные символы – различие в диффузной радиации, светлые – различие в прямой радиации; б, в – темные символы – различие в суммарной радиации, светлые – различие в поглощении

Нами были сделаны также оценки влияния аэрозольной оптической толщи на различие между потоками солнечного излучения, вычисленными с использованием моделей континуума водяного пара CAVIAR и MT_CKD2.4.

Различие в спектральных потоках *прямой* радиации $S(\lambda)$ за счет моделей континуума определяется по формуле

$$\begin{aligned} \Delta S(\lambda) &= S(\text{MT}, \lambda) - S(\text{CAV}, \lambda) = \\ &= \exp(-\tau_{\lambda}^a m) \exp(-\tau_{\lambda}^R m) \exp(-\tau_{\lambda}^{\text{sel-abs}} m) \times \\ &\times [\exp(-\tau_{\lambda}^{\text{MT}} m) - \exp(-\tau_{\lambda}^{\text{CAV}} m)], \end{aligned}$$

где τ_{λ}^a , τ_{λ}^R и $\tau_{\lambda}^{\text{sel-abs}}$ – оптические толщи аэрозоля, рэлеевского рассеяния и селективного газового поглощения соответственно; m – атмосферная масса в направлении на Солнце. Обозначения MT и CAV соответствуют характеристикам, рассчитанным с использованием моделей континуума MT_CKD и CAVIAR. Из приведенной формулы следует, что при фиксированных характеристиках молекулярного поглощения наибольшее различие в $S(\lambda)$ имеет место при $\tau_{\lambda}^a = 0$. Результаты моделирования показали, что разница в интегральных потоках прямой радиации при увеличении $\tau_{0,55}^a$ от 0 до 1 меняется незначительно, но по мере дальнейшего возрастания АОТ влияние различных моделей континуального поглощения становится менее существенным (рис. 5, а).

Вместе с тем возрастание АОТ является причиной увеличения длины пути фотонов в атмосфере и, следовательно, различия в потоках диффузной радиации (рис. 5, а).

Таким образом, степень влияния различий моделей MT_CKD и CAVIAR на потоки суммарной радиации формируется под воздействием двух противоположных эффектов и зависит от соотношения долей прямого и рассеянного излучения (рис. 5, б, в). Увеличение $\tau_{0,55}^a$ от 0 до 1 не оказывает значительного влияния на абсолютную разницу в суммарных потоках и атмосферном поглощении за счет различия в моделях континуального поглощения (рис. 5, в), но влияет на относительное различие в поглощении, которое уменьшилось почти в 2 раза при возрастании АОТ (рис. 5, б).

Заключение

В работе представлены оценки влияния моделей континуального поглощения водяного пара на потоки солнечного излучения для типичных летних и зимних условий Западной Сибири. При средних значениях атмосферных параметров (влажность в столбе атмосферы $W = 2 \text{ г/см}^2$, аэрозольная оптическая толщина $\tau_{0,55}^a = 0,15$) потоки суммарной приземной солнечной радиации, вычисленные с использованием модели MT_CKD2.4, завышены более чем на 2 Вт/м^2 по сравнению с потоками, полученными с использованием модели CAVIAR. Это различие увеличивается при возрастании содержания водяного пара в атмосфере и достигает $3,5 \text{ Вт/м}^2$ при $W = 3,1 \text{ г/см}^2$ и зенитном угле Солнца $\leq 40^\circ$. Соответствующая разница в поглощении солнечной радиации составляет 4 Вт/м^2 .

Кроме того, следует иметь в виду, что оптическую толщину аэрозоля обычно восстанавливают из

измерений солнечного излучения в спектральных окнах прозрачности, где селективное поглощение в микроокнах между линиями часто пренебрежимо мало и использование в процедурах восстановления АОТ данных, представленных в различных моделях континуального поглощения, может повлиять на точность восстановления АОТ и, как следствие, на радиационные характеристики атмосферы.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ № 10-05-00764-а, 12-05-00802-а и гранта Министерства образования и науки № 8325.

1. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.V. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller (eds.). Cambridge; NY: Cambridge University Press. 996 p.
2. Белан Б.Д., Креков Г.М. Влияние антропогенного фактора на содержание парниковых газов в тропосфере // Оптика атмосфер. и океана. 2012. Т. 25, № 4. С. 361–373.
3. Continuum Model, Radiative Transfer Working Group, http://rtweb.aer.com/continuum_description.html
4. Baranov Yu.I., Lafferty W.J. The water vapour self- and water-nitrogen continuum absorption in the 1000 and 2500 cm^{-1} atmospheric windows // Phil. Trans. Roy. Soc. A. 2012. V. 370, N 1968. P. 2578–2589.
5. Ptashnik I.V., McPheat R.A., Shine K.P., Smith K.M., Williams R.G. Water vapor self-continuum absorption in near-infrared windows derived from laboratory measurements // J. Geophys. Res. D. 2011. Т. 16305.
6. Ptashnik I.V., McPheat R.A., Shine K.P., Smith K.M., Williams R.G. Water vapour foreign continuum absorption in near-infrared windows from laboratory measurements // Phil. Trans. Roy. Soc. A. 2012. V. 370, N 1968. С. 2557–2577.
7. Чеснокова Т.Ю., Журавлева Т.Б., Воронина Ю.В., Скляднева Т.К., Ломакина Н.Я., Ченцов А.В. Моделирование потоков солнечного излучения с использованием высотных профилей концентрации водяного пара, характерных для условий Западной Сибири // Оптика атмосфер. и океана. 2011. Т. 24, № 11. С. 969–975.
8. Mitsel' A.A., Ptashnik I.V., Firsov K.M., Fomin B.A. Efficient technique for line-by-line calculating the transmittance of the absorbing atmosphere // Atmos. and Ocean. Opt. 1995. V. 8, N 10. P. 847–850.
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., Simeckova M., Smith M.A.H., Sung K., Tashkun S.A., Tennyson J., Toth R.A., Vandaele A.C., Auwers J.V. The HITRAN 2008 molecular spectroscopic database // J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer. 2009. V. 110, N 9. P. 533–572.
10. Clough S.A., Kneizys F.X., Davies R.W. Line shape and the water vapor continuum // Atmos. Res. 1989. N 23. P. 229–241.
11. Clough S.A., Shephard M.W., Mlawer E.J., Delamere J.S., Iacono M.J., Cady-Pereira K., Boukabara S., Brown P.D. Atmospheric radiative transfer modeling: a summary of the AER codes // J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer. 2005. V. 91, iss. 2. P. 233–244. (doi: 10.1016/j.jqsrt.2004.05.058).
12. 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. 25 p.
13. Журавлева Т.Б., Кабанов Д.М., Сакерин С.М., Фирсов К.М. Моделирование прямого радиационного форсинга аэрозоля для типичных летних условий Сибири. Часть 1. Метод расчета и выбор входных параметров // Оптика атмосфер. и океана. 2009. Т. 22, № 2. С. 163–172.
14. Slingo A.A. GCM parameterization for shortwave radiative properties of water clouds // J. Atmos. Sci. 1989. V. 46, N 10. P. 1419–1427.
15. Журавлева Т.Б. Моделирование переноса солнечного излучения в различных атмосферных условиях. Часть I. Детерминированная атмосфера // Оптика атмосфер. и океана. 2008. Т. 21, № 2. С. 99–114.
16. Kato S., Ackerman T.P., Mather J.H., Clothiaux E.E. The k -distribution method and correlated- k approximation for a shortwave radiative transfer model // J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer. 1999. V. 62, iss. 1. P. 109–121.
17. Чеснокова Т.Ю., Фирсов К.М., Воронина Ю.В. Применение рядов экспонент при моделировании широкополосных потоков солнечного излучения в атмосфере Земли // Оптика атмосфер. и океана. 2007. Т. 20, № 9. С. 799–804.
18. Журавлева Т.Б., Фирсов К.М. Алгоритмы расчетов спектральных потоков солнечной радиации в облачной и безоблачной атмосфере // Оптика атмосфер. и океана. 2004. Т. 17, № 11. С. 903–911.
19. Fontenla J., White O.R., Fox P.A., Avert E.H., Kurucz R.L. Calculation of solar irradiances. I. Synthesis of the solar spectrum // Astrophys. J. 1999. V. 518, N 1. P. 480–500.
20. Комаров В.С., Ломакина Н.Я. Статистические модели пограничного слоя атмосферы Западной Сибири. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2008. 222 с.
21. Комаров В.С., Ломакина Н.Я., Лавриненко А.В., Ильин С.Н. Изменения климатов пограничного слоя атмосферы Сибири в период глобального потепления. Часть 1. Аномалии и тренды температуры воздуха // Оптика атмосфер. и океана. 2010. Т. 23, № 11. С. 942–950.
22. Комаров В.С., Ломакина Н.Я., Лавриненко А.В., Ильин С.Н. Изменения климатов пограничного слоя атмосферы Сибири в период глобального потепления. Часть 2. Аномалии и тренды влажности воздуха // Оптика атмосфер. и океана. 2010. Т. 23, № 11. С. 951–956.
23. Сакерин С.М., Береснев С.А., Горда С.Ю., Кабанов Д.М., Корниенко Г.И., Маркелов Ю.И., Михалев А.В., Николашкин С.В., Панченко М.В., Поддубный В.А., Полькин В.В., Смирнов А.В., Тащилин М.А., Турчинович С.А., Турчинович Ю.С., Холбен Б.Н., Еремлина Т.А. Характеристики годового хода спектральной аэрозольной оптической толщи атмосферы в условиях Сибири // Оптика атмосфер. и океана. 2009. Т. 22, № 6. С. 566–574.
24. Total ozone mapping spectrometer. Data product: ozone http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone_v8.html
25. CCMVal Radiation Intercomparison: <http://homepages.see.leeds.ac.uk/~earpmf/ccmvalrad.shtml>
26. Сакерин С.М., Кабанов Д.М. Спектральная зависимость аэрозольной оптической толщи атмосферы в об-

ласти спектра 0,37–4 мкм // Оптика атмосф. и океана. 2007. Т. 20, № 2. С. 156–164.
27. Кабанов Д.М., Курбангалиев Т.Р., Рассказчикова Т.М., Сакерин С.М., Хуторова О.Г. Влияние синоптических

факторов на вариации аэрозольной оптической толщи атмосферы в условиях Сибири // Оптика атмосф. и океана. 2011. Т. 24, № 8. С. 665–674.
28. URL: <ftp://e4ftl01u.ecs.nasa.gov/>

T. Yu. Chesnokova, T. B. Zhuravleva, I. V. Ptashnik, A. V. Chentsov. **Simulation of solar radiative fluxes in the atmosphere using different models of water vapor continual absorption in typical condition of Western Siberia.**

A calculation of total, direct, and diffuse solar radiation fluxes in 0.2–5 μm spectral region in the cloudless atmosphere for different water vapor continuum absorption models at the variable atmospheric total water vapor content, typical for winter and summer conditions of Western Siberia is made. It is shown that the CAVIAR continuum absorption model, based on new experimental data, can give a higher sensitivity of the simulated fluxes to the total water vapor content than the MT_CKD model, widely used in the radiative calculations. It is caused by the fact that the water vapor continuum in the CAVIAR data exceeds the MT_CKD prediction on average by the order of magnitude in the atmospheric windows of the near infrared spectral region.