



DOI: <https://doi.org/10.15688/mpcm.jvolsu.2017.5.8>

УДК 504.32, 551.521

ББК 22.344, 26.233

ВЫЧИСЛЕНИЕ ПОТОКОВ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В УФ-ДИАПАЗОНЕ С РАЗЛИЧНЫМИ СЕЧЕНИЯМИ ПОГЛОЩЕНИЯ ОЗОНА И ДИОКСИДА АЗОТА¹

Татьяна Юрьевна Чеснокова

Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник,
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
ches@iao.ru
пл. Академика Зуева, 1, 634055 г. Томск, Российская Федерация

Юлия Викторовна Воронина

Кандидат физико-математических наук, научный сотрудник,
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
yulia@iao.ru
пл. Академика Зуева, 1, 634055 г. Томск, Российская Федерация

Алексей Владимирович Ченцов

Кандидат физико-математических наук, научный сотрудник,
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
sav@iao.ru
пл. Академика Зуева, 1, 634055 г. Томск, Российская Федерация

Константин Михайлович Фирсов

Доктор физико-математических наук, профессор,
Волгоградский государственный университет
fkm@volsu.ru
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

Алексей Александрович Размоллов

Аспирант,
Волгоградский государственный университет
alek.razmolov2010@yandex.ru
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. В работе проведена оценка возможных погрешностей, возникающих при моделировании атмосферного радиационного переноса солнечного излучения в УФ-диапазоне за счет использования различных современных данных по сечениям поглощения озона и диоксида азота. Проведено сопоставление расчетных данных о прозрачности атмосферы, а также прямого и диффузно рассеянного потока солнечного излучения на поверхности Земли при регистрации наземными приборами различного спектрального разрешения. Проанализированы спектроскопические погрешности восстановления общего содержания озона в вертикальном столбе атмосферы при измерениях прозрачности атмосферы с использованием солнечных фотометров серии SPM, разработанных в ИОА СО РАН. В нашей работе для расчета атмосферного поглощения в УФ-диапазоне были использованы данные по сечениям поглощения озона Bass, Daumont, Molina, Serdyuchenko и диоксида азота Vogumil, Burrows, JPL.

Показано, что при высоком спектральном разрешении 0,02–0,06 нм различие в атмосферном пропускании, вычисленном с данными по сечениям поглощения озона Serdyuchenko и Bass, достигает 18,4 % для летних метеорологических условий Волгограда и 22,3 % для Томска в спектральном интервале вблизи 305 нм, который часто используется для восстановления общего содержания озона в атмосфере. Был проведен также расчет потоков УФ-излучения, измеряемых солнечным фотометром SPM для типичных условий Волгограда и Томска. В этом случае спектральное разрешение является более грубым (величиной порядка 10 нм), а различие в пропускании атмосферы за счет сечений поглощений озона составило менее 2 %. Применение данных Molina дает различие в суммарном нисходящем потоке относительно данных Bass до 1,8 %, что может привести к погрешности определения озона не более 4 %. Использование различных данных по сечениям поглощения NO_2 в диапазоне 250–400 нм не оказывает значительного влияния на расчеты пропускания. Различие в пропускании составляет не более чем 0,9 %.

Ключевые слова: сечения поглощения, озон, диоксид азота, перенос излучения, атмосфера.

Введение

Озон является основным поглощающим газом в УФ-диапазоне, защищающим все живое на Земле от губительного воздействия ультрафиолетового излучения. Помимо него дополнительный, хотя и меньший вклад в поглощение в УФ-диапазоне вносят такие газы, как NO_2 , SO_2 , BrO, OClO и др. Концентрация этих газов в атмосфере Земли может достаточно сильно меняться, причем их изменчивость обусловлена различными факторами, как естественными (например, циркуляция атмосферы), так и антропогенными. Контроль над содержанием газов в атмосфере проводится разными дистанционными методами, для которых необходим точный учет характеристик молекулярного поглощения. В УФ-диапазоне для вычисления атмосферного поглощения используются сечения поглощения O_3 , NO_2 , SO_2 , которые требуется знать с высокой точностью. В отчете за 2015 г. международной комиссии по изучению сечений поглощения озона ACSO [5] было отмечено, что для серийных измерений концентраций озона в атмосфере необходима точность данных по сечениям поглощения озона не хуже 1 %, чтобы ограничить системные погрешности восстановления содержания озона из атмосферных измерений. Кроме того, при моделировании радиационного переноса и решении обратных задач восстановления концентраций газов следует учитывать температурную зависимость сечений поглощения озона и диоксида азота.

В данной работе проведена оценка возможных погрешностей, возникающих при моделировании атмосферного радиационного переноса солнечного излучения в УФ-диапазоне за счет использования различных современных данных по сечениям поглощения озона и диоксида азота. Проведено сопоставление расчетных данных о прозрачности атмосферы, а также прямого и диф-

фузно рассеянного потока солнечного излучения на поверхности Земли при регистрации наземными приборами различного спектрального разрешения. Особое внимание уделено разработанным в ИОА СО РАН солнечным фотометрам серии SPM [1], с помощью которых выполняются регулярные измерения прозрачности атмосферы в Томске и Волгограде. На основе этих данных возможно восстановление общего содержания озона в вертикальном столбе атмосферы.

Сечения поглощения озона и диоксида азота

К настоящему времени получено много экспериментальных данных по сечениям поглощения озона и диоксида азота при различных температурах и спектральном разрешении. В атмосферных приложениях наиболее часто используются сечения поглощения озона Bass, Paur [9], Daumont, Brion [6; 16] и Molina [13]. Недавно были проведены новые лабораторные измерения сечений поглощения озона в УФ и видимом диапазонах спектра Serdyuchenko, Gorshelev et al. [17; 18] с высоким спектральным разрешением.

В работе [4] показано, что сечения поглощения озона Bass [9], Daumont [6; 16] и Molina [13] отличаются более, чем на 4 % в спектральном диапазоне 300–370 нм. Это приводит к различию в спектральных потоках солнечного излучения у поверхности Земли, вычисленных на основе данных Molina [13] и Bass [9], на 8 % и более при разрешении 1 нм. Различие же между потоками для данных Daumont [6; 16] и Bass [9] не превысило 2 %.

В работе [3] проведено сопоставление лидарных измерений вертикальных профилей концентрации озона, восстановленных с применением температурной зависимости сечений поглощения озона Daumont [6; 16], с данными спутника Европейского космического агентства (MetOp). Восстановленные профили достаточно хорошо совпадают с данными измерений спутника на протяжении всего высотного диапазона измерений.

В нашей работе для расчета атмосферного поглощения в УФ-диапазоне были использованы данные по сечениям поглощения озона Bass [9], Daumont [6; 16], Molina [13], Serdyuchenko [17; 18] и диоксида азота Bogumil [11], Burrows [8], JPL [19]. Их некоторые характеристики приведены в таблице 1 (спектральное разрешение, температура). Данные по сечениям поглощения NO₂, рекомендованные организацией JPL [19], – это усредненные по соответствующим интервалам данные из работы Vandaele [12] при температурах 220 и 294 К.

Таблица 1

Основные характеристики данных по сечениям поглощения O₃ и NO₂

Спектральный интервал, нм	Спектральное разрешение, нм	Температура, К	Ссылка
O ₃			
185–850	0,07	226, 263, 298	Molina and Molina [13]
195–850	0,01	228, 243, 273, 295	Daumont et al. [6; 16]
245–850	0,025	200, 220, 240, 260, 280, 300	Bass and Paur [9]
213–1 100	0,02–0,06 (УФ), 0,12–0,24 (ИК)	193, 203, 213, 223, 233, 243, 253, 263, 273, 283, 293	Serdyuchenko et al. [17; 18]
NO ₂			
241–760	0,21–0,22	203, 223, 243, 273, 293	Bogumil K. et al. [11]
230–794	0,2–0,4	221, 241, 273, 293	Burrows J.P. et al. [8]
240–662,5	–	220, 294	JPL [12; 19]

На рисунках 1 и 2 приведена температурная зависимость сечений поглощения O₃ и NO₂ на длине волны 324 нм. Как видно из рисунка 1, все измеренные сечения поглощения O₃ имеют идентичную температурную зависимость. Однако разброс между данными разных авторов достигает 10 %. Следует отметить, что наиболее близки между собой данные Serdyuchenko et al. [17; 18] и Bass [9]. На рисунке 2 приведено сопоставление сечений поглощения NO₂, измеренных тремя авторами. Различия в данных по сечениям поглощения NO₂ при низких температурах не превышает 1,4 %, тогда как расхождение между данными Burrows [8] и JPL [19] при комнатной температуре составляет 12 %.

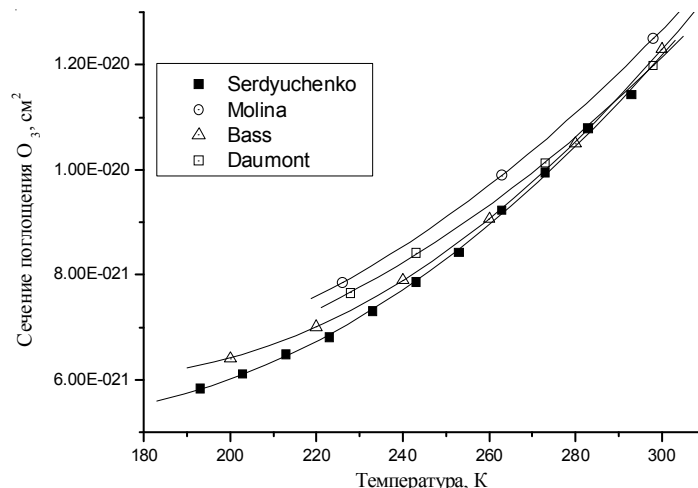


Рис. 1. Температурная зависимость сечений поглощения O_3 на длине волны 324 нм

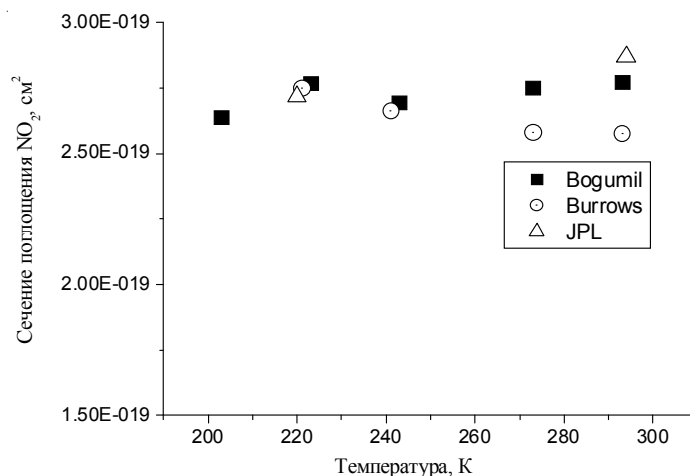


Рис. 2. Температурная зависимость сечений поглощения NO_2 на длине волны 324 нм

Спектры пропускания атмосферы с высоким спектральным разрешением

Чтобы оценить качество спектроскопической информации в УФ-диапазоне, было рассчитано для типичных метеорологических условий г. Томска и г. Волгограда атмосферное пропускание при использовании сечений поглощения O_3 и NO_2 разных авторов. Для расчета прозрачности атмосферы использовались вертикальные профили температуры, давления воздуха, озона и влажности для летних условий, реализуемых в Томске согласно метеомодели [2; 10]. Для Волгограда использовались вертикальные профили температуры, давления, концентрации озона согласно данным реанализа [14], усредненные за июль 2015 года. Общее содержание озона в столбе атмосферы составляло 334 еД (единица Добсона) для Томска и 320 еД для Волгограда согласно спутниковым измерениям [7].

На рисунке 3 приведено пропускание атмосферы для зенитного угла Солнца 60° в УФ области спектра, вычисленное на основе данных по сечениям поглощения O_3 [9] и NO_2 [11] для типичных метеорологических летних условий г. Томска. На рисунках 4 и 5 представлено различие в атмосферном пропускании для зенитного угла Солнца 60° , вычисленном с различными данными по сечениям поглощения O_3 [6; 9; 13; 16–18] для г. Томска и г. Волгограда. Различие в пропускании озона, вычисленном с данными Serdyuchenko и Bass, достигает 18,4 % для метеорологических условий Волгограда и 22,3 % для Томска, в спектральном интервале вблизи 305 нм, который часто используется для восстановления общего содержания озона в атмосфере.

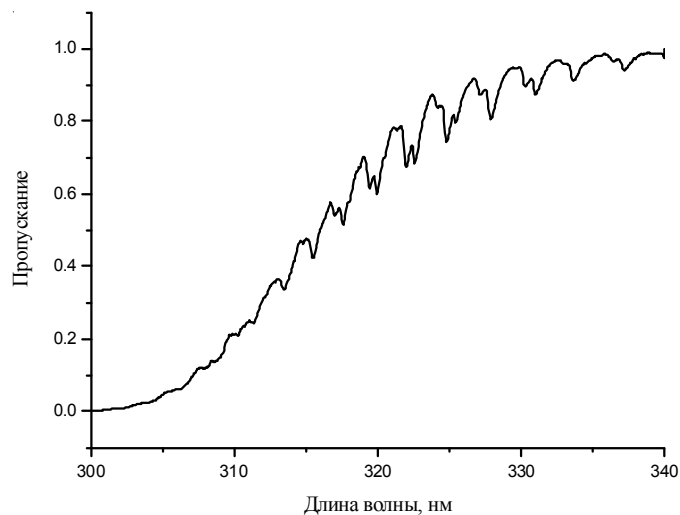


Рис. 3. Пропускание атмосферы для зенитного угла Солнца 60° в УФ области спектра, вычисленное на основе данных по сечениям поглощения O_3 [9] и NO_2 [11] для метеомодели лета г. Томска

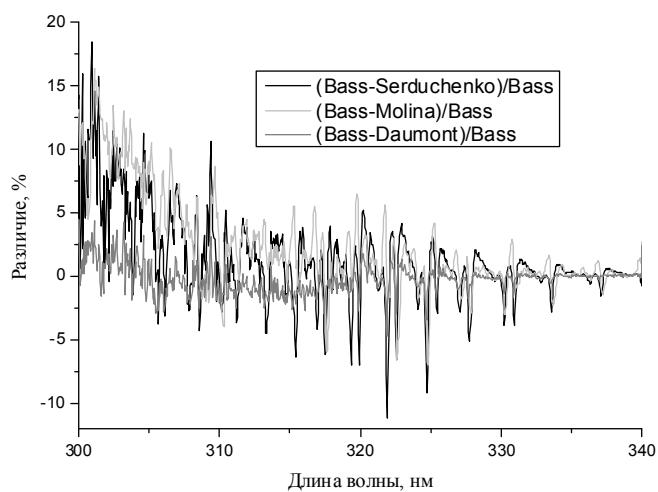
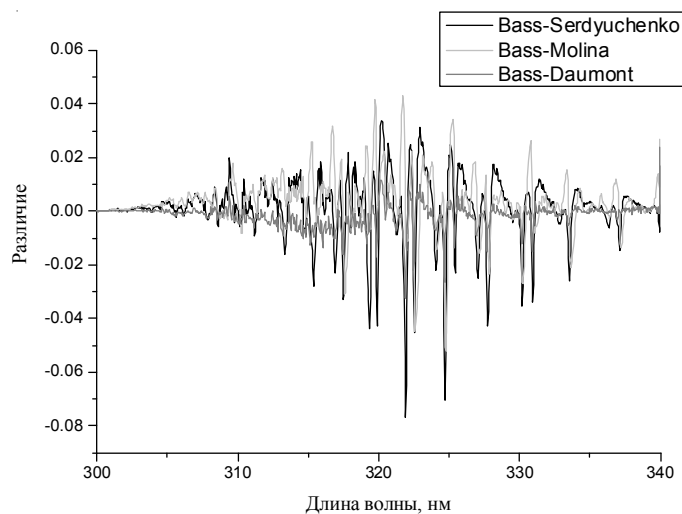


Рис. 4. Абсолютное и относительное различие в атмосферном пропускании, вычисленном с различными данными по сечениям поглощения O_3 , для зенитного угла Солнца 60° . Метеомодель – лето г. Волгограда

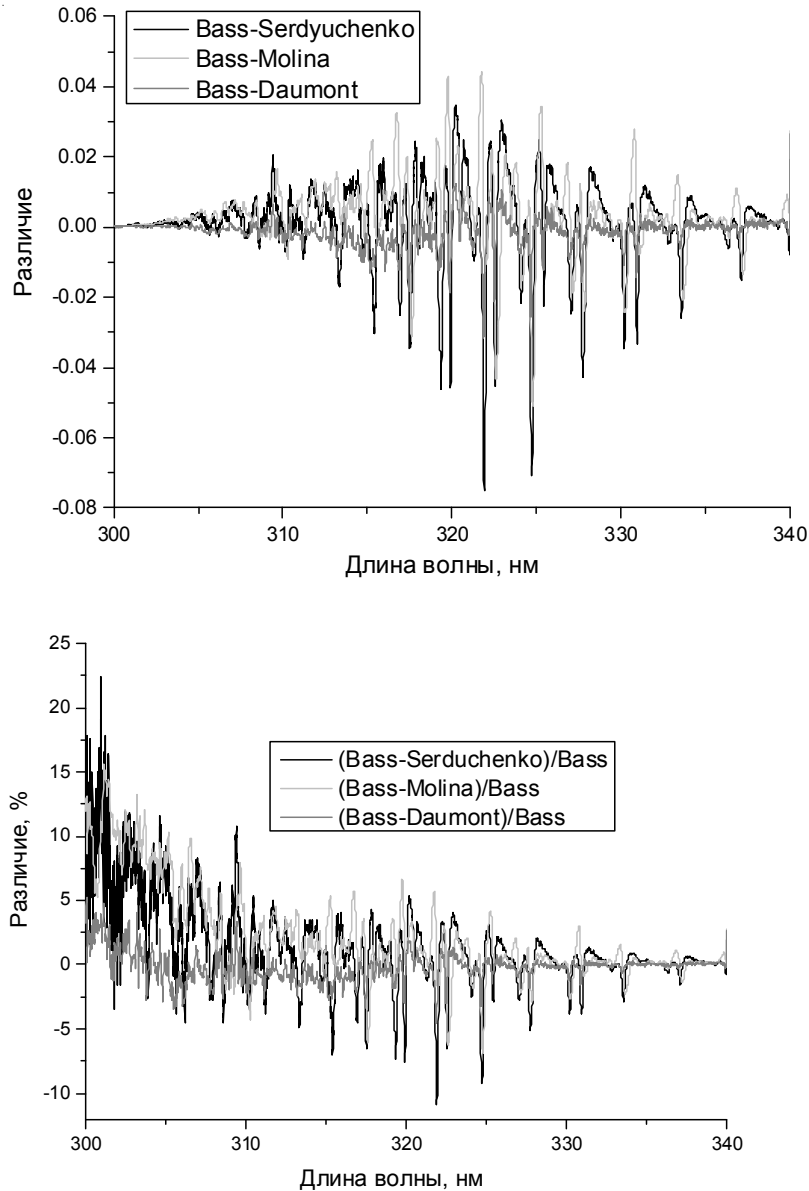


Рис. 5. Абсолютное и относительное различие в атмосферном пропускании, вычисленном с различными данными по сечениям поглощения O_3 , для зенитного угла Солнца 60° . Метеомодель – лето г. Томска

На рисунке 6 приведено различие в атмосферном пропускании, вычисленном с различными сечениями поглощения NO_2 [8; 11; 19], для наклонной трассы с зенитным углом Солнца 60° . Также в расчетах использовались сечения поглощения O_3 Serdyuchenko [17; 18] и SO_2 из [11]. Профиль концентрации NO_2 и SO_2 задавался согласно метеомодели AFGl [15], содержание O_3 согласно метеоусловий лета г. Томска [7]. Различие в пропускании, вычисленном с различными данными NO_2 , не превышает 0,9 %. Различие в данных по сечениям поглощения NO_2 оказывает меньшее влияние на расчеты пропускания, чем различия в сечениях поглощения озона, так как в атмосфере содержится значительно меньше NO_2 по сравнению с O_3 . Применение различных данных по сечениям поглощения NO_2 не будет заметно влиять на результаты восстановления озона из измерений излучения в УФ-диапазоне.

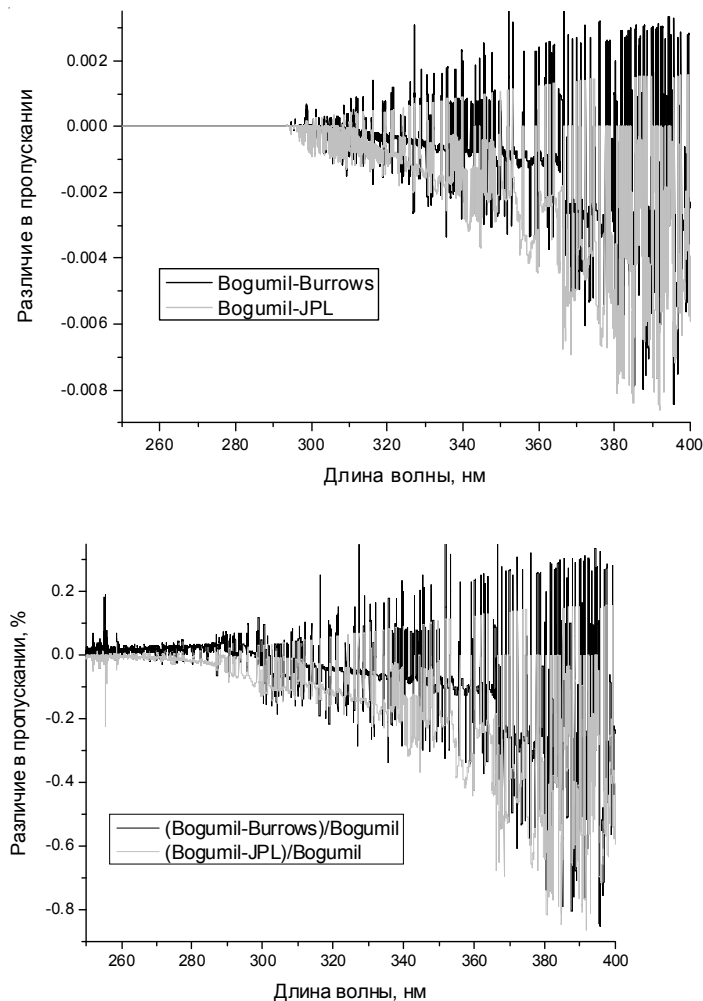


Рис. 6. Абсолютное и относительное различие в атмосферном пропускании, вычисленном с различными сечениями поглощения NO_2 , для наклонной трассы с зенитным углом Солнца 60°

Моделирование потоков солнечного излучения

Приведенные выше результаты демонстрируют, что использование приборов высокого спектрального разрешения для определения общего содержания озона (ОСО) в вертикальном столбе атмосферы приводит к значительным погрешностям в ОСО при решении обратной задачи из-за неопределенности в исходной спектроскопической информации. Однако при более грубом спектральном разрешении ситуация меняется, и как будет показано ниже, различие в сечениях поглощения, измеренных разными авторами, не будет так радикально сказываться на результатах моделирования.

Был проведен расчет прямых потоков УФ-излучения, измеряемых солнечным фотометром SPM, для типичных условий Волгограда и Томска. Спектральные фильтры фотометра SPM, установленного в Волгограде, показаны на рисунке 7. Фотометры, работающие в г. Томске, имеют близкие спектральные характеристики, поэтому мы для моделирования использовали одни и те же аппаратные функции.

Уравнение переноса солнечного излучения в атмосфере решалось с помощью метода дискретных ординат DISORT [19]. Входными данными для вычисления потоков излучения являются высотные профили оптической толщи газовой поглощения и аэрозоля, альbedo однократного рассеяния аэрозоля, коэффициентов молекулярного (релеевского) рассеяния и поглощения, индикатрисы рассеяния аэрозоля, альbedo подстилающей поверхности.

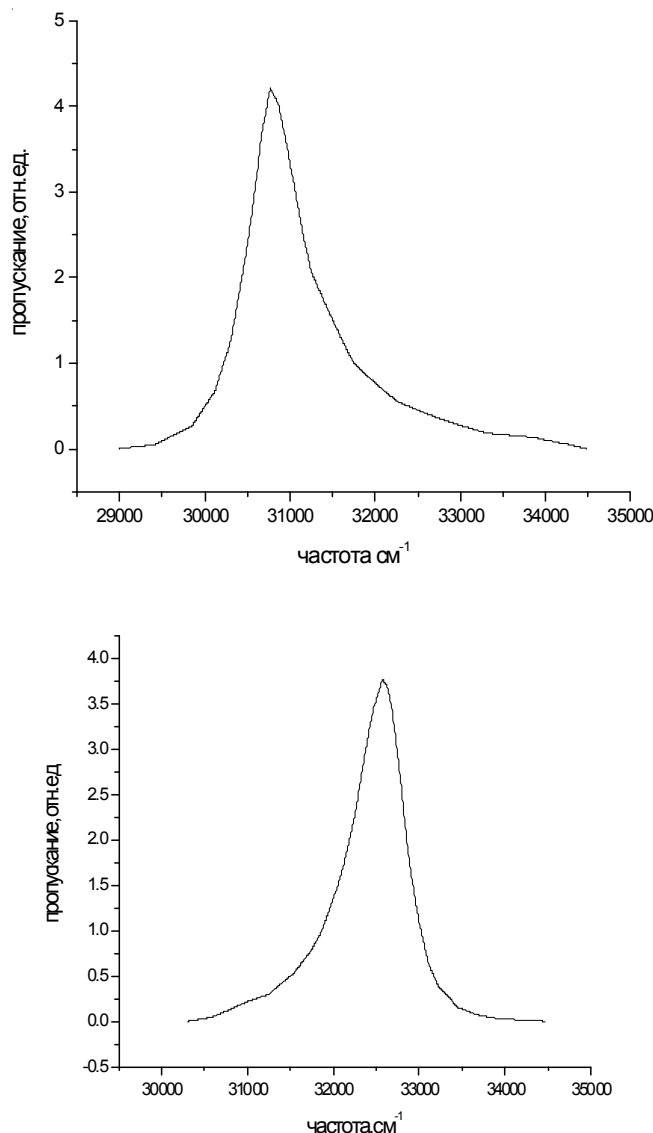


Рис. 7. Аппаратные функции фотометра для каналов 305 и 324 нм

Индикатриса рассеяния аэрозоля рассчитывалась по формуле Хенни-Гринстейна со средним косинусом рассеяния, равным 0,7. Зенитный угол Солнца был 30°. В расчетах использовались вертикальные профили давления, температуры и концентрации газов для летних условий в Томске и Волгограде согласно данным [2; 7; 10; 14], дополненные на больших высотах модельными профилями AFGL [15].

Были сделаны расчеты потоков с использованием сечений поглощения озона Serdyuchenko [17; 18], Bass [9], Daumont [6; 16] и Molina [13] для метеомоделей лета г. Томска и г. Волгограда. Для аппроксимации температурной зависимости сечений поглощения использовался квадратичный полином. Общее содержание озона в столбе атмосферы было 334 DU для Томска и 320 DU для Волгограда согласно спутниковым измерениям [7]. В расчетах учитывалось также поглощение NO₂ на основе данных Vogumil [11]. Так как разница в пропускании, вычисленном с учетом поглощения SO₂ и без учета, незначительна в спектральном диапазоне 300–340 нм, поглощение диоксидом серы не учитывалось при моделировании потоков солнечного излучения.

Результаты сравнения потоков, вычисленные с различными данными по сечениям поглощения O₃ и NO₂, для фотометров с центрами фильтров на длине волны 305 и 324 нм представлены в таблицах 2 и 3. В таблице 3 приведено различие в потоках, рассчитанных с сечениями поглоще-

ния озона Molina, Daumont, Serdyuchenko, относительно потоков, вычисленных с данными Bass. Сечения поглощения Bass были выбраны в качестве основы для сравнения, так как они содержатся в известной базе параметров линий поглощения HITRAN и часто используются в атмосферных расчетах. Использование новых данных по сечениям поглощения озона Serdyuchenko вместо данных Bass приводит к изменению в суммарном нисходящем потоке у поверхности Земли для метеоусловий г. Томска и г. Волгограда около 1 %, применение данных Molina дает различие в суммарном нисходящем потоке относительно данных Bass до 1,8 %, что может привести к погрешности определения озона до 4 %.

Таблица 2

Потоки солнечного излучения у поверхности Земли, вычисленные с различными данными по сечениям поглощения озона, мВт/м²

Прямой нисходящий поток				Рассеянный нисходящий поток				Суммарный нисходящий поток			
Bass	Molina	Daumont	Serdyuchenko	Bass	Molina	Daumont	Serdyuchenko	Bass	Molina	Daumont	Serdyuchenko
Томск, фотометр с фильтром 305 нм											
1258,9	1238,1	1264,7	1245,8	3693,6	3627,2	3712,6	3651,0	4952	4865,3	4977,3	4896,8
Волгоград, фотометр с фильтром 305 нм											
1291,5	1269,2	1297,6	1278,6	3798,0	3726,9	3817,8	3755,9	5089,0	4996,1	5115,4	5034,5
Томск, фотометр с фильтром 324 нм											
4636	4626	4626	4637	12245	12214	12214	12247	16881	16840	16840	16884
Волгоград, фотометр с фильтром 324 нм											
4637	4628	4648	4638	12264	12234	12298	12267	16901	16862	16946	16905

Таблица 3

Относительное различие в потоках у поверхности Земли, вычисленных с сечениями поглощения озона Molina, Daumont, Serdyuchenko, относительно потоков, вычисленных с данными Bass, и различие в потоках, вычисленных с сечениями поглощения диоксида азота Bogumil и JPL, относительно потоков, вычисленных с данными Burrows, %

Прямой нисходящий поток			Рассеянный нисходящий поток			Суммарный нисходящий поток		
O ₃								
Molina	Daumont	Serdyuchenko	Molina	Daumont	Serdyuchenko	Molina	Daumont	Serdyuchenko
Томск, фотометр с фильтром 305 нм								
1,65	-0,46	1,04	1,80	-0,51	1,15	1,76	-0,5	1,12
Волгоград, фотометр с фильтром 305 нм								
1,72	-0,47	0,99	1,87	-0,52	1,11	1,8	-0,51	1,08
Томск, фотометр с фильтром 324 нм								
0,21	0,21	-0,03	0,25	0,25	-0,02	0,24	0,24	-0,018
Волгоград, фотометр с фильтром 324 нм								
0,20	-0,24	-0,03	0,24	-0,28	-0,03	0,23	-0,27	-0,024
NO ₂								
Bogumil	JPL	Bogumil	JPL	Bogumil	JPL	Bogumil	JPL	
Томск, фотометр с фильтром 305 нм								
0,0017	0,0088	0,0020	0,0095	0,0019	0,0094			
Волгоград, фотометр с фильтром 305 нм								
0,0017	0,0088	0,0020	0,0096	0,0019	0,0094			
Томск, фотометр с фильтром 324 нм								
0,0013	0,0011	0,0015	0,0016	0,0015	0,0015			
Волгоград, фотометр с фильтром 324 нм								
0,0013	0,0011	0,0015	0,0017	0,0015	0,0016			

В таблице 3 приводятся относительные различия в потоках, вычисленных с данными по сечениям поглощения NO₂, Bogumil [11], Burrows [8], JPL [19], относительно потоков, вычисленных с данными Burrows [8]. Различие в суммарном нисходящем потоке, рассчитанном с различными данными по сечениям поглощения NO₂, не превышает 0,01 %, что значительно меньше

ше погрешности измерений и моделирования. Поэтому различия в рассмотренных данных по сечениям поглощения NO_2 не окажут существенного влияния на результаты определения общего содержания озона в атмосфере из измерений солнечного излучения фотометрами в диапазоне 280–340 нм.

Заключение

Результаты моделирования показали, что в спектральном интервале вблизи 305 нм при высоком спектральном разрешении 0,02–0,06 нм различие в пропускании озона, вычисленном с сечениями поглощения, используемыми в настоящее время при обработке данных оптических измерений, достигает 18,4 % для метеорологических условий Волгограда и 22,3 % – для Томска. Такой большой разброс может привести к большим неопределенностям при измерениях общего содержания озона в этих спектральных диапазонах.

Однако при использовании спектрометров среднего спектрального разрешения ~10 нм, к которым относятся фотометры SPM, разработанные в ИОА СО РАН, ситуация радикально улучшается. Использование сечений поглощения озона Serdyuchenko вместо сечений Bass, содержащихся в приложении к широко распространенной базе данных HITRAN, приводит к изменению как в прямом, так и в суммарном нисходящем потоке у поверхности Земли около 1 %. Применение данных Molina дает различие в суммарном нисходящем потоке относительно данных Bass до 1,8 %, что может привести к погрешности определения озона до 4 %.

Использование различных данных по сечениям поглощения NO_2 в диапазоне 250–400 нм не оказывает значительного влияния на расчеты пропускания. Различие в пропускании составляет не более чем 0,9 %.

ПРИМЕЧАНИЕ

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, Администрации Волгоградской области в рамках научного проекта № 16-45-340152 р_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование радиационных характеристик аэрозоля в азиатской части России / С. Ю. Андреев, С. В. Афонин, Т. В. Бедарева [и др.] ; под общ. ред. С. М. Сакерина. – Томск : Изд-во ИОА СО РАН, 2012. – 482 с.
2. Комаров, В. С. Статистические модели пограничного слоя атмосферы Западной Сибири / В. С. Комаров, Н. Я. Ломакина. – Томск : ИОА СО РАН, 2008. – 222 с.
3. Сравнение лидарных и спутниковых измерений вертикальных профилей озона по данным 2015 г. / А. А. Невзоров, В. Д. Бурлаков, С. И. Долгий, А. В. Невзоров, О. А. Романовский, О. В. Харченко, Ю. В. Гриднев // Оптика атмосферы и океана. – 2016. – Т. 29, № 8. – С. 703–708. – DOI: 10.15372/AOO20160812.
4. Чеснокова, Т. Ю. Влияние качества спектроскопической информации на моделирование нисходящих потоков солнечного излучения в УФ-диапазоне / Т. Ю. Чеснокова, Ю. В. Воронина // Оптика атмосферы и океана. – 2008. – Т. 21, № 7. – С. 577–581.
5. Absorption cross-sections of ozone in the ultraviolet and visible spectral regions: Status report 2015 / J. Orphal, J. Staehelin, J. Tamminen [et. al.] // Journal of Molecular Spectroscopy. – 2016. – Vol. 327. – P. 105–121. – DOI: 10.1016/j.jms.2016.07.007.
6. Absorption spectra measurements for the ozone molecule in the 350–830 nm region / J. Brion, A. Chakir, J. Charbonnier, D. Daumont, C. Parisse, J. Malicet // Journal of Atmospheric Chemistry. – 1998. – Vol. 30. – P. 291–299. – DOI: 10.1023/A:1006036924364.
7. Anderson, G. P. AFGL atmospheric constituent profiles (0–120 km) / G. P. Anderson, S. A. Clough, F. X. Kneizys. – Massachusetts, 1986. – 46 p.
8. Atmospheric remote-sensing reference data from GOME: Part 1. Temperature-dependent absorption cross-sections of NO_2 in the 231–794 nm range / J. P. Burrows, A. Dehn, B. Deters [et al.] // Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. – 1998. – Vol. 60. – P. 1025–1031. – DOI: 10.1016/S0022-4073(97)00197-0.

9. Bass, A. M. UV absorption cross-sections for ozone: the temperature dependence / A. M. Bass, R. J. Paur // *Journal of Photochemistry*. – 1981. – Vol. 17. – P. 141.
10. ESRL: PSD: NCEP/NCAR Reanalysis at NOAA/ESRL PSD. – Electronic text data. – Mode of access: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/reanalysis/> (date of access: 17.08.2017). – Title from screen
11. Measurements of molecular absorption spectra with the SCIAMACHY pre-flight model: Instrument characterization and reference data for atmospheric remote sensing in the 230–2380 nm region / K. Bogumil, J. Orphal, T. Homann [et al.] // *Journal of Photochemistry and Photobiology*. – 2003. – Vol. 157 (A). – P. 167–184. – DOI: 10.1016/S1010-6030(03)00062-5.
12. Measurements of the NO₂ absorption cross-section from 42000 cm⁻¹ to 10 000 cm⁻¹ (238–1000 nm) at 220 K and 294 K / A. C. Vandaele, D. Hermans, P. C. Simon [et al.] // *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*. – 1998. – Vol. 59. – P. 171–184. – DOI: 10.1016/S0022-4073(97)00168-4.
13. Molina, L. T. Absolute absorption cross sections of ozone in the 185 to 350 nm wavelength range / L. T. Molina, M. J. Molina // *Journal of Geophysical Research*. – 1986. – Vol. 91 (D), № 13. – P. 14500–14508. – DOI: 10.1029/JD091iD13p14501.
14. NASA Goddard Ozone & Air Quality. – Electronic text data. – Mode of access: <https://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/data/ozone/> (date of access: 17.08.2017). – Title from screen.
15. Numerically stable algorithm for discrete-ordinate-method radiative transfer in multiple scattering and emitting layered media / K. Stamnes, S.-C. Tsay, W. Wiscombe, K. Jayaweera // *Applied Optics*. – 1988. – Vol. 27. – P. 2502–2509.
16. Ozone UV spectroscopy I: Absorption cross section at room temperature II: Absorption cross sections and temperature dependence / D. Daumont, J. Brion, J. Charbonnier, C. Malicet // *Journal of Atmospheric Chemistry*. – 1992. – Vol. 15. – P. 145–155, 263–273. – DOI: 10.1007/BF00053756, 10.1007/BF00696758.
17. High spectral resolution ozone absorption cross-sections. Part 2. Temperature dependence / A. Serdyuchenko, V. Gorshchev, M. Weber, W. Chehade, J. P. Burrows // *Atmospheric Measurement Techniques*. – 2014. – Vol. 7. – P. 625–636. – DOI: 10.5194/amt-7-625-2014.
18. High spectral resolution ozone absorption cross-sections. Part 1. Measurements, data analysis and comparison with previous measurements around 293 K / V. Gorshchev, A. Serdyuchenko, M. Weber, W. Chehade, J. P. Burrows // *Atmospheric Measurement Techniques*. – 2014. – Vol. 7. – P. 609–624. – DOI: 10.5194/amt-7-609-2014.
19. JPL Publication 15–10, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena. 2015 / B. Burkholder, S. P. Sander, J. Abbatt [et al.]. – Electronic text data. – Mode of access: <http://jpldataeval.jpl.nasa.gov>. – Title from screen.

REFERENCES

1. Andreev S. Yu., Afonin S. V., Bedareva T. V. *Issledovanie radiatsionnykh kharakteristik aerolya v aziatskoy chasti Rossii* [The Study of Radiation Characteristics of Aerosol in the Asian Part of Russia]. Tomsk, Izd-vo IOA SO RAN, 2012. 482 p.
2. Komarov V. S., Lomakina N. Ya. *Statisticheskie modeli pogranichnogo sloya atmosfery Zapadnoy Sibiri* [Statistical Models of the Boundary Layer of the Atmosphere of Western Siberia]. Tomsk, IOA SO RAN, 2008. 222 p.
3. Nevzorov A. A., Burlakov V. D., Dolgiy S. I., Nevzorov A. V., Romanovskiy O. A., Kharchenko O. V., Gridnev Yu. V. Sravnenie lidarnykh i sputnikovykh izmereniy vertikalnykh profiley ozona po dannym 2015 g. [Comparison of Lidar and Satellite Measurements of Vertical Ozone Profiles According to 2015 Data]. *Optika atmosfery i okeana*, 2016, vol. 29, no. 8, pp. 703–708. DOI: 10.15372/AOO20160812.
4. Chesnokova T. Yu., Voronina Yu. V. Vliyaniye kachestva spektroskopicheskoy informatsii na modelirovaniye niskhodyashchikh potokov solnechnogo izlucheniya v UF-diapazone [Influence of the Quality of Spectroscopic Information on the Modeling of Downward Fluxes of Solar Radiation in the UV Range]. *Optika atmosfery i okeana*, 2008, vol. 21, no. 7, pp. 577–581.
5. Orphal J., Staehelin J., Tamminen J., et. al. Absorption cross-sections of ozone in the ultraviolet and visible spectral regions: Status report 2015. *Journal of Molecular Spectroscopy*, 2016, vol. 327, pp. 105–121. DOI: 10.1016/j.jms.2016.07.007.
6. Brion J., Chakir A., Charbonnier J., Daumont D., Parisse C., Malicet J. Absorption spectra measurements for the ozone molecule in the 350–830 nm region. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 1998, vol. 30, pp. 291–299. DOI: 10.1023/A:1006036924364.
7. Anderson G. P., Clough S. A., Kneizys F. X. *AFGL atmospheric constituent profiles (0–120 km)*. Massachusetts, 1986. 46 p.

8. Burrows J.P., Dehn A., Deters B., et al. Atmospheric remote-sensing reference data from GOME: Part 1. Temperature-dependent absorption cross-sections of NO₂ in the 231–794 nm range. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 1998, vol. 60, pp. 1025–1031. DOI: 10.1016/S0022-4073(97)00197-0.
9. Bass A.M., Paur R.J. UV absorption cross-sections for ozone: the temperature dependence. *Journal of Photochemistry*, 1981, vol. 17, p. 141.
10. *ESRL: PSD: NCEP/NCAR Reanalysis at NOAA/ESRL PSD*. URL: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/reanalysis/>. (accessed August 17, 2017).
11. Bogumil K., Orphal J., Homann T., et al. Measurements of molecular absorption spectra with the SCIAMACHY pre-flight model: Instrument characterization and reference data for atmospheric remote sensing in the 230–2380 nm region. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 2003, vol. 157 (A), pp. 167–184. DOI: 10.1016/S1010-6030(03)00062-5.
12. Vandaele A.C., Hermans D., Simon P.C., et al. Measurements of the NO₂ absorption cross-section from 42000 cm⁻¹ to 10 000 cm⁻¹ (238–1000 nm) at 220 K and 294 K. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 1998, vol. 59, pp. 171–184. DOI: 10.1016/S0022-4073(97)00168-4.
13. Molina L.T., Molina M.J. Absolute absorption cross sections of ozone in the 185 to 350 nm wavelength range. *Journal of Geophysical Research*, 1986, vol. 91 (D), no. 13, pp. 14500–14508. DOI: 10.1029/JD091iD13p14501.
14. *NASA Goddard Ozone & Air Quality*. URL: <https://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/data/ozone/>. (accessed August 17, 2017).
15. Stamnes K., Tsay S.-C., Wiscombe W., Jayaweera K. Numerically stable algorithm for discrete-ordinate-method radiative transfer in multiple scattering and emitting layered media. *Applied Optics*, 1988, vol. 27, pp. 2502–2509.
16. Daumont D., Brion J., Charbonnier J., Malicet C. Ozone UV spectroscopy I: Absorption cross section at room temperature II: Absorption cross sections and temperature dependence. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 1992, vol. 15, pp. 145–155, 263–273. DOI: 10.1007/BF00053756, 10.1007/BF00696758.
17. Serdyuchenko A., Gorshelev V., Weber M., Chegade W., Burrows J.P. High spectral resolution ozone absorption cross-sections. Part 2. Temperature dependence. *Atmospheric Measurement Techniques*, 2014, vol. 7, pp. 625–636. DOI: 10.5194/amt-7-625-2014.
18. Gorshelev V., Serdyuchenko A., Weber M., Chegade W., Burrows J.P. High spectral resolution ozone absorption cross-sections. Part 1. Measurements, data analysis and comparison with previous measurements around 293 K. *Atmospheric Measurement Techniques*, 2014, vol. 7, pp. 609–624. DOI: 10.5194/amt-7-609-2014.
19. Burkholder B., Sander S.P., Abbatt J., et al. *JPL Publication 15–10, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena. 2015*. URL: <http://jpldataeval.jpl.nasa.gov>.

CALCULATION OF SOLAR RADIATION FLUXES IN THE UV REGION WITH DIFFERENT CROSS SECTIONS OF OZONE AND NITROGEN DIOXIDE ABSORPTION

Tatyana Yurevna Chesnokova

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher,
V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics, Siberian Branch of RAS
ches@iao.ru
Akademika Zueva Sq., 1, 634055 Tomsk, Russian Federation

Yuliya Viktorovna Voronina

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Researcher,
V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics, Siberian Branch of RAS
yulia@iao.ru
Akademika Zueva Sq., 1, 634055 Tomsk, Russian Federation

Aleksey Vladimirovich Chentsov

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Researcher,
V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics, Siberian Branch of RAS
cav@iao.ru
Akademika Zueva Sq., 1, 634055 Tomsk, Russian Federation

Konstantin Mikhaylovich Firsov

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,
Volgograd State University
fkm@volsu.ru
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

Aleksey Aleksandrovich Razmolov

Postgraduate Student,
Volgograd State University
alek.razmolov2010@yandex.ru
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

Abstract. The paper estimates the possible errors in the modeling of atmospheric transfer of UV solar radiation by means of using modern data on cross sections of ozone and nitrogen dioxide absorption. The estimated data on atmosphere transparency, as well as direct and diffuse scattered fluxes of solar radiation at the Earth's surface, registered by ground-based instruments with different spectral resolution, are compared. We analyze the spectroscopic errors in recovering the total content of atmospheric ozone at the measurement of atmospheric transparency with the use of SPM solar photometers, designed in the Siberian Branch of RAS. The calculations of UV atmosphere absorption are based on the data of ozone cross sections by Bass, Daumont, Molina and Serdyuchenko, and nitrogen dioxide by Bogumil, Burrows and JPL.

It is shown that at the high spectrum resolution 0,02–0,06 nm, difference in the atmospheric transmission of ozone, calculated with the use of data on cross section absorption of ozone (Serdyuchenko and Bass), reaches 18,4 % for summer meteorological conditions of Volgograd and 22,3 % for Tomsk in the spectral interval near 305 nm, which is often used in recovering the total content of atmospheric ozone. We also calculated the UV radiation fluxes, measured by the SPM solar photometer for typical atmospheric conditions of Volgograd and Tomsk. In this case, the spectral resolution is lower (about 10 nm), and the difference in the atmospheric transmission is less than 2 % due to ozone absorption cross section data. The use of Molina data produces the difference up to 1,8 % in the total downward solar fluxes relatively to the data of Bass that can lead to an error in ozone total content retrieval less than 4 %. The use of different NO₂ absorption cross section data does not influence the atmospheric transmission calculation in the 250–400 nm spectral interval. The discrepancies in the transmission do not exceed 0,9 %.

Key words: absorption cross sections, ozone, nitrogen dioxide, radiation transfer, atmosphere.