

А. В. Шаврина¹, Я. В. Павленко¹, А. А. Велесь¹,
В. А. Шеминова¹, И. И. Синявский¹, М. Г. Сосонкин¹,
Я. О. Романюк¹, Н. А. Еременко¹, Ю. С. Иванов¹,
О. А. Монсар¹, М. Крон²

¹Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України, Київ

²Королівський метеорологічний інститут, Нідерланди

Общее содержание озона в тропосфере и тропосферные профили озона над Киевом в 2007 году

Надійшла до редакції 20.12.07

Наземні спостереження на інфрачервоному фур'є-спектрометрі були виконані в Головній астрономічній обсерваторії Національної академії наук (ГАО НАНУ) в рамках проекту ESA-NIVR-KNMI no2907 «OMI validation by ground based remote sensing: ozone columns and atmospheric profiles». Метою проекту є валідація даних моніторингу по загальному вмісту озону в атмосфері і атмосферних профілях озону, отриманих з інструментом OMI (Ozone Monitoring Instrument) на борту супутника NASA EOS Aura. Спостереження спектрів поглинання земною атмосферою прямого сонячного в інфрачервоній області спектру (2—8 мкм) проводились в періоди серпень—жовтень 2005 року, червень—жовтень 2006 року та березень—жовтень 2007 року переважно для безхмарного неба. При умов чистого неба спостереження проводились з раннього ранку до заходу Сонця у широкому діапазоні зенітних кутів. Оцінки загального вмісту озону в атмосфері по спостереженнях 2006 року були отримані при моделюванні спектру озонової полоси на 9.6 мкм при допомозі програми MODTRAN3, з використанням молекулярної бази даних HITRAN-96. Оцінки загального вмісту озону, отримані з наших спостережень на фур'є-спектрометрі, виявились в середньому на 8—10 ОД нижчими від OMI-DOAS-даних при відносно невеликій стандартній похибці порядку 2 %. Спостереження 2006 року моделювались програмою MODTRAN4. Як апіорну інформацію для моделювання ми використовували супутникові дані для моделювання ми використали супутникові дані по профілях водяного пару і температури Aqua-AIRS та стратосферні профілі озону Aura-MLS (версія 1.5), кліматологічні TEMIS-KNMI [4] та одночасно виконані виміри поверхневого озону. Оцінки загального вмісту озону, отримані з наших спостережень в 2006 році при допомозі моделювання по програмі MODTRAN4, добре погоджуються з даними OMI-TOMS і OMI-DOAS: стандартні похибки є 0.68 % та 1.11 % відповідно. Нові дані по стратосферному озону Aura-MLS версії 2.2, які стали доступними в 2007 році, дозволяють нам відтворювати тропосферні профілі озону. Для деяких дат стали також доступними тропосферні профілі AURA-TES, які для валідації порівнювались з нашими відтвореними профілями. Нами був виконаний попередній аналіз змінності озону в тропосфері. Спостереження за березень—жовтень показують щоденну фотохімічну змінність вмісту тропосферного озону, що свідчить про процеси перемішування на протязі ночі.

ВВЕДЕНИЕ

Общепризнано, что озоновый слой в стратосфере очень важен для поддержания жизни на Земле

— озоновый слой защищает все живущее на Земле от губительной ультрафиолетовой солнечной радиации. Ниже, в тропосфере, озон действует как загрязнитель, но он также является

важным парниковым газом. Тропосферный озон не испускается непосредственно каким-либо естественным источником, но образуется под действием ультрафиолетового излучения из естественных и антропогенных эмиссий окислов азота (NO_x) и различных органических соединений (VOCs). Чтобы понять и определить ключевые процессы в глобальном бюджете озона, проводится спутниковое зондирование атмосферы. В настоящее время спутниковые наблюдения позволяют определять общее содержание озона и атмосферные профили озона. Однако наземные наблюдения также необходимы для подтверждения и дополнения космических данных, особенно это касается выяснения роли местных и региональных источников и стоков этого газа. Такие наземные данные помогают изучать динамическое поведение загрязнителей воздуха и проверять согласие с моделями переноса (транспортировки) загрязнителей. Они также помогут развитию политики по отношению к окружающей среде, особенно политики по отношению к парниковым газам в местном и региональном масштабах.

Наши первые попытки получить общее содержание озона из наблюдений прямого солнечного излучения с фурье-спектрометром в Главной астрономической обсерватории были успешными [11], что позволило нам представить предложение по OMI-валидации, которое было принято.

СПУТНИКОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ OMI

Голландско-финский прибор OMI (Ozone Monitoring Instrument) [6, 7] установлен на борту спутника NASA Aura серии EOS (Earth Observing System) [10]. Это — компактный спектрометр, работающий в видимой и ультрафиолетовой областях спектра (270—500 нм), записывающий спектры в широкой полосе вблизи точки надира, который обеспечивает ежедневный мониторинг атмосферы всего земного шара с высоким пространственным и спектральным разрешением. Орбита Ауры синхронна Солнцу и проходит на высоте 705 км с наклоном 98° и временем восхода над экватором приблизительно 13^h45^m. OMI измеряет рассеянное назад солнечное излучение в дневной части каждой орбиты и прямое солнечное излучение вблизи

терминатора северного полушария однажды в день. Из соотношения излучения от Земли и Солнца и выводятся данные OMI. Во время написания алгоритмов OMI TOMS и OMI DOAS [3, 5, 13] (см. также OMI README — <http://disc.gsfc.nasa.gov/Aura/OMI/>) оценки общего содержания озона были доступны публично в системе NASA DISC. Алгоритм OMI-TOMS основан на алгоритме TOMS V8, который использовался, чтобы обработать данные четырех инструментов TOMS, которые летали начиная с ноября 1978 г. Этот алгоритм использует измерения в 4 дискретных полосах спектра шириной 1 нм с центром на 313, 318, 331 и 360 нм.

Алгоритм OMI-DOAS [13] использует преимущество гиперспектральной особенности OMI и основан на принципе спектроскопии дифференциального оптического поглощения (DOAS) [8]. Алгоритм использует около 25 измерений OMI в диапазоне длин волн от 331.1 до 336.6 нм, как описано в [13]. Ключевое различие между этими двумя алгоритмами — то, что алгоритм DOAS устраняет влияние аэрозолей, облаков, вулканической двуокиси серы и поверхностных эффектов подгонкой деталей спектра, в то время как алгоритм TOMS, чтобы устранить эти эффекты, применяет эмпирическую коррекцию. Кроме того, алгоритм TOMS использует высоту облаков, взятую из климатологии, которая была получена по спутниковым данным в инфракрасной области спектра, в то время как алгоритм DOAS использует информацию об облаках, полученную из OMI-измерений полосы поглощения O₂-O₂ на $\lambda = 470$ нм. Эти два алгоритма также по-разному откликаются на инструментальные ошибки. Поэтому валидация является ключевым моментом в том, чтобы определить количественно и понять эти различия как функцию геометрии измерения, сезона и географического местоположения.

НАЗЕМНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ С ФУРЬЕ-СПЕКТРОМЕТРОМ

Наблюдения выполнены с фурье-спектрометром, модель «Infralum FT 801», который был модернизирован для задачи контроля атмосферы наблюдениями прямого солнечного излучения [1]. Главное преимущество этого устройства — его

небольшой размер и малая чувствительность оптической системы к вибрациям. Рабочий спектральный диапазон FTIR-спектрометра — 2—12 мкм (800—5000 см⁻¹) с самым высоким возможным спектральным разрешением приблизительно 1.0 см⁻¹. После модернизации в 2006 г. нашего спектрометра и обновления программного обеспечения для первичной обработки зарегистрированных спектров система теперь позволяет усреднять от 2 до 99 индивидуальных спектра в ходе наблюдения. Мы усредняли четыре отдельных спектра, как рекомендовано разработчиками спектрометра, чтобы избежать эффектов атмосферной нестабильности на более длинных экспозициях. Усредненные спектры имеют отношения «сигнал / шум» S/N = 150—200. Мы регистрировали 3—4 усредненных спектра в течение 2—3 мин времени наблюдений.

В ходе дальнейшей обработки наблюдаемых спектров мы проверяли повторяемость этих 3—4 спектров и выбирали спектр с лучшим отношением «сигнал / шум», чтобы сравнить их с модельными спектрами.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРОВ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ MODTRAN И АНАЛИЗ

Оценки общего содержания озона (O₃) были получены с помощью моделирования спектров умеренного разрешения программами переноса излучения в атмосфере MODTRAN3 и MODTRAN4 [2]. Эти программы широко применяются для интерпретации наземных, баллонных и спутниковых наблюдений спектров атмосферы Земли. Программы вычисляют прошедшее через атмосферу и отраженное электромагнитное излучение в диапазоне частот от 0 до 50000 см⁻¹. Модель использует сферическую функцию источника для света, пришедшего от Солнца или рассеянного Луной, и стандартные модели атмосферы. Пользователь также может определять атмосферные профили газов, аэрозолей, облаков, туманов и даже дождь. Она использует двухпараметрическую (температура и давление) модель молекулярных полос поглощения, которая рассчитывается на основе большого количества предварительно накопленных данных о спектральных линиях, содержащихся в молекулярной базе данных HITRAN. Для расче-

та модели полосы используются данные о линиях для 12 легких молекул (H₂O, CO₂, O₃, CO, CH₄, O₂, NO, SO₂, NO₂, N₂O, NH₄ и HNO₃), а для тяжелых молекул — CFC (9 молекул) и ClONO₂, HNO₄, CCl₄ и N₂O₅ используются вычисленные сечения поглощения. Расчеты выполнены в приближении локального термодинамического равновесия (ЛТР) для умеренного спектрального разрешения (2 см⁻¹) которое в точности соответствует нашим наблюдаемым спектрам. Параметры модели полосы были заново пересчитаны нами на основе HITRAN-2004 согласно статье [2]. Для построения входных (*a priori*) атмосферных профилей озона, температуры и водяного пара для моделирования с программой MODTRAN4.3 использовались измерения концентраций поверхностного озона ультрафиолетовым озонометром TEI-49i, размещенным рядом с фурье-спектрометром, спутниковые данные AIRS (<http://disc.gsfc.nasa.gov/AIRS/>) на борту спутника NASA EOS-Aqua, и микроволнового прибора MLS (<http://avdc.gsfc.nasa.gov/Data/Aura/>) на борту спутника NASA EOS-Aura. Для анализа наблюдений 2006 г. мы использовали MLS-данные версии 1.5, которые имели предварительный характер. Мы варьировали форму стратосферных профилей озона MLS, чтобы получить лучшую подгонку спектров, рассчитанных с помощью программы MODTRAN4.3 к нашим наблюдаемым спектрам в области полосы озона вблизи 9.6 мкм [12]. К счастью, в 2007 г. стала доступной новая и более точная версия данных MLS v2.2, которая позволила нам разработать новый подход к анализу: мы варьируем во входном профиле озона лишь тропосферную часть, а стратосферный профиль лишь шкалируем множителем в пределах указанной точности (2—5 % в области давлений 216—0.02 гПа) без модификации его формы. Тропосферная часть входного профиля озона строилась на основе измерения концентрации поверхностного озона и климатологических профилей озона TEMIS (усредненных по месяцам [4]), которые размещены на веб-странице TEMIS-KNMI. Таким образом, мы старались получить насколько возможно лучшее совмещение модельного вычисленного спектра с наблюдаемым вблизи 9.6 мкм. Данные Aura-TES, доступные на веб-странице AVDC, также использовались для тех дней наблюдений, для

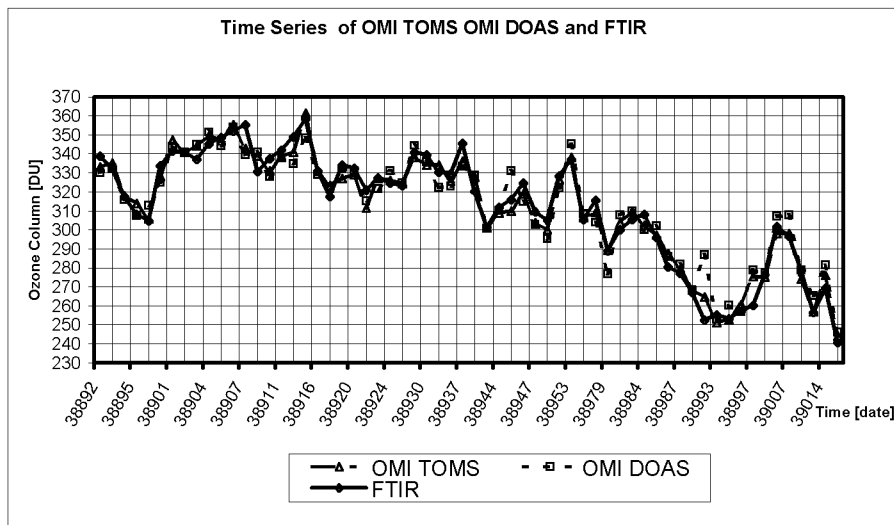


Рис. 1. Сравнение наших оценок (FTIR) общего содержания озона со спутниковыми данными OMI-DOAS и OMI-TOMS для 2006 г.

которых они имелись.

Чтобы варьировать форму тропосферной части профиля озона, мы использовали гладкую функцию, определенную между точками высоты в модели атмосферы J1 и J2 (обычно 3 и 12, соответствующих высоте 2 и 11 км). Для любой точки J модели в пределах J1, J2 мы принимаем:

$$x = (J - J1) / (J2 - J1),$$

тогда

$$P_J = P_{0J} (1 + B(\sin x))^a$$

определяет форму функции коррекции, а B определяет амплитуду вариаций входного тропосферного профиля озона, где $B > -1$ и $a > 0$. Используя программу MODTRAN4, мы вычисляем сетку теоретических спектров. Чтобы определять параметры лучшего совмещения, мы сравниваем наблюдаемые и вычисленные спектры путем процедуры минимизации двумя шагами.

Во-первых, мы определяем лучшее совмещение наблюдаемых линий водяного пара в спектральной области $800\text{--}1240\text{ см}^{-1}$. Таким образом мы исключаем полосу озона из анализа. Во втором шаге мы находим лучшее совмещение наблюдаемого спектра возле полосы озона на 9.6 мкм с сеткой расчетных спектров, включая

предварительно определенный лучший атмосферный профиль водяного пара.

В итоге мы определяем тропосферные профили озона, общее количество озона в атмосфере и общее количество озона в тропосфере из лучшего совмещения модельных и наблюдаемых спектров полосы озона.

Рис. 1 представляет сравнение наших оценок общего содержания озона со спутниковыми данными OMI-DOAS и OMI-TOMS в течение 2006 г. В среднем различие спутниковых и наземных наблюдений составляет 0.37 ЕД и -0.25 ЕД для OMI-DOAS и OMI-TOMS соответственно, со стандартными отклонениями 8.77 ЕД и 5.37 ЕД (стандартные ошибки равны 1.11 ЕД и 0.68 ЕД соответственно). На рис. 2 слева показаны все наблюдаемые спектры в течение 29 сентября 2007 г. Справа мы демонстрируем лучшее совмещение модельных спектров к наблюдаемому спектру для $13^{\text{h}}01^{\text{m}}$ местного времени. Рис. 3—6 представляют наши восстановленные профили озона для четырех репрезентативных случаев: два весенних эпизода повышенного общего содержания озона, летний эпизод фотохимического производства озона и осенний эпизод низкого содержания стратосферного озона. Последний случай наблюдался в течение трех дней 2007 г.: 29 сентября, 1 и

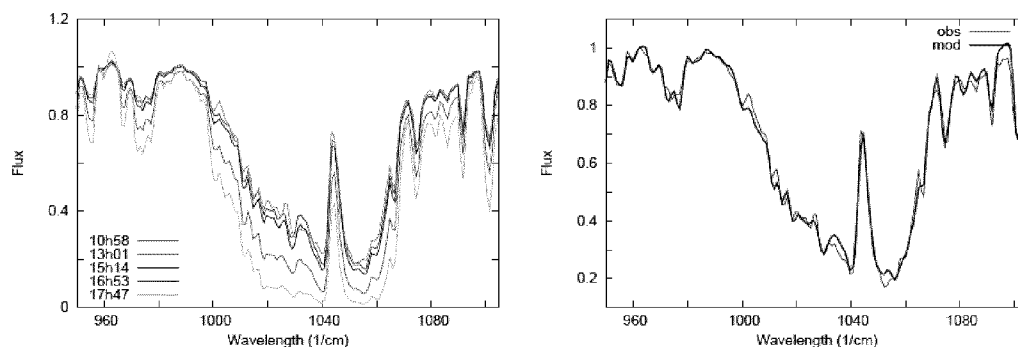


Рис. 2. Слева — все наблюдаемые спектры для 29 сентября 2007 г. Справа — лучшее совмещение модельных спектров с наблюдаемым спектром для 13^h01^m местного времени

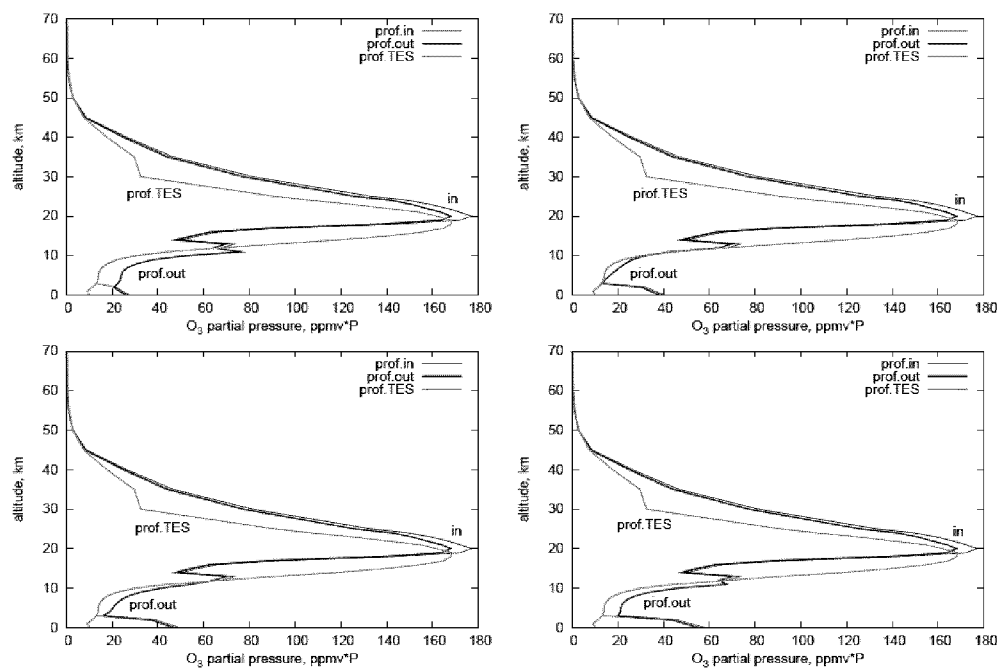


Рис. 3. Восстановленные атмосферные профили озона для 28 марта 2007 г. по наблюдениям в 8^h54^m и 10^h47^m местного времени (верхние рисунки) и 13^h12^m и 18^h21^m местного времени (нижние рисунки)

2 октября. Рисунки демонстрируют специфические особенности каждого эпизода и ежедневную динамику тропосферного озона вследствие фотохимических процессов.

Рис. 3 показывает восстановленные атмосферные профили озона для 28 марта 2007 г. по

наблюдениям в 8^h54^m и 10^h47^m местного времени (верхние рисунки) и 13^h12^m и 18^h21^m местного времени (нижние рисунки). На этих рисунках можно видеть низкие концентрации озона в пограничном слое для утреннего наблюдения в 8^h54^m LT. Здесь, вероятно, имеет место титрова-

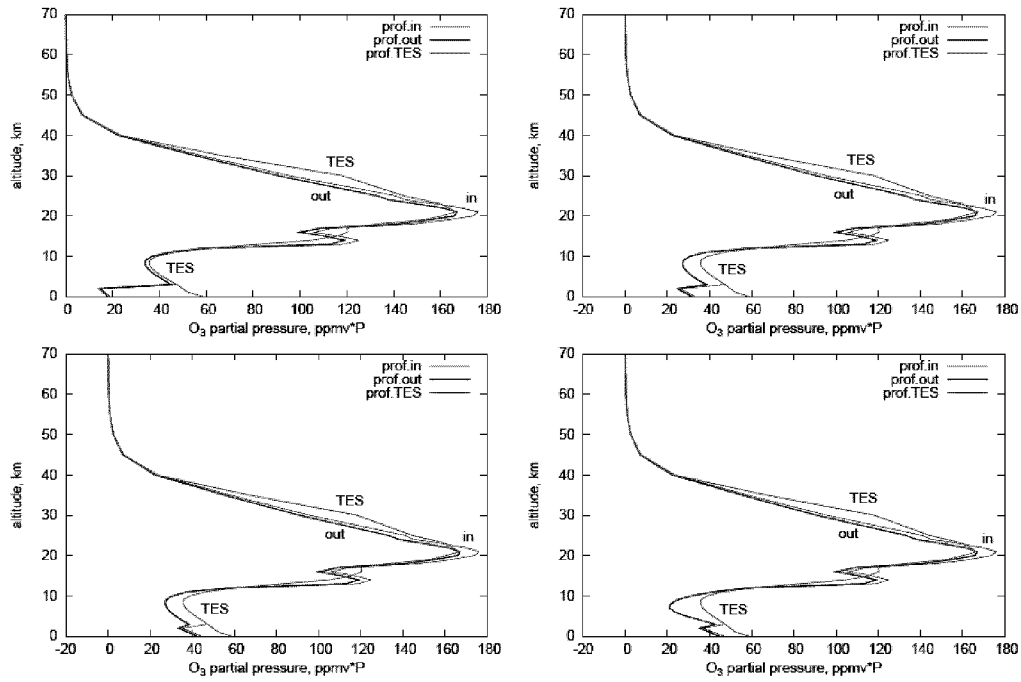


Рис. 4. Восстановленные атмосферные профили озона для 23 апреля 2007 г. для моментов наблюдений $09^{h}22^{m}$ и $11^{h}15^{m}$ (верхние рисунки) и $14^{h}35^{m}$ и $15^{h}40^{m}$ местного времени (нижние рисунки)

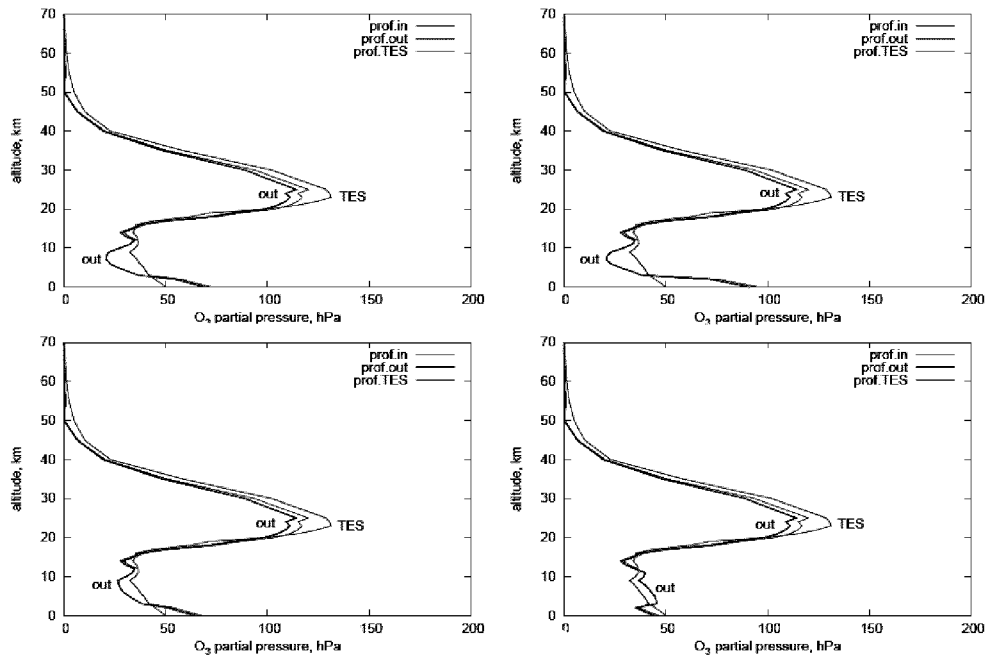


Рис. 5. Восстановленные атмосферные профили озона для 18 июля 2007 г. по наблюдениям в $13^{h}35^{m}$ и $16^{h}10^{m}$ (верхние рисунки) и в $17^{h}20^{m}$ и $19^{h}27^{m}$ (нижние рисунки) местного времени

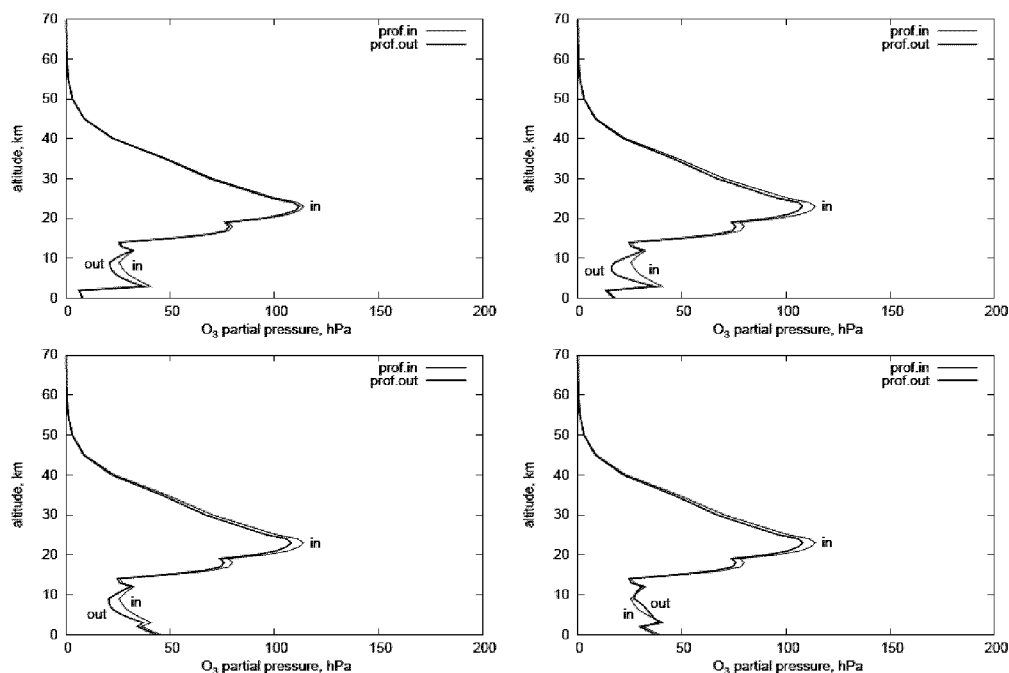


Рис. 6. Восстановленные атмосферные профили озона для 1 октября 2007 г. 8^h08^m и 9^h49^m (верхние рисунки), и 16^h21^m и 17^h41^m местного времени (нижние рисунки)

ние озона окислами азота (NO_x), которые выбрасываются автомобилями с началом утреннего движения транспорта. В 10^h47^m мы видим уменьшение тропосферного озона для 2—11 км вертикальной шкалы. Повышение озона из-за фотохимических процессов в атмосфере заметно на нижних рисунках. Наши одновременно выполненные измерения поверхностного озона также отражают эту динамику со временем: 27.3, 40.2, 48.8, и 57.3 ppb (значения зарегистрированы для точно тех же моментов времени. Для сравнения мы также показываем спутниковый вертикальный профиль озона AURA-TES для 28 марта 2007 г., который может рассматриваться как достоверный только в тропосфере.

Рис. 4 показывает восстановленные атмосферные профили озона для 23 апреля 2007 г. для моментов наблюдений 09^h22^m и 11^h15^m (верхние рисунки) и 14^h35^m и 15^h40^m местного времени (нижние рисунки). В этот день величины общего содержания озона (411.0 ЕД FTIR) и содержания озона в тропосфере (см. таблицу) очень высоки. Возможно, здесь мы наблюдаем случай

вторжения стратосферного озона в тропосферные слои (стратосферную интрузию). Отметим, что самая высокая величина общего содержания озона 448 ЕД в 2007 г. была 22 апреля.

Рис. 5 показывает восстановленные атмосферные профили озона для 18 июля 2007 г. по наблюдениям в 13^h35^m и 16^h10^m (верхние рисунки) и в 17^h20^m и 19^h27^m (нижние рисунки) местного времени. Самые высокие величины содержания озона в тропосфере, высокие значения поверхностных концентраций озона (см. таблицу) и их дневная динамика характерны для эпизодов повышенного содержания озона в тропосфере вследствие фотохимии. Обратим внимание, что в этот день общее содержание озона довольно низко (291.5 ЕД).

Наконец, на рис. 6 мы показываем восстановленные атмосферные профили озона для 1 октября 2007 г., 8^h08^m и 9^h49^m (верхние рисунки) и 16^h21^m и 17^h41^m местного времени (нижние рисунки). Общее содержание озона в этот день довольно низко: лишь 262 ЕД. Однако мы можем видеть дневную динамику тропосферного

Оценки общего содержания озона и содержание озона в тропосфере (для нескольких репрезентативных дней 2007)

Дата	Время ч, мин	z, град	ТОС, ЕД	ОМІ-ТOMS, ЕД	ОМІ-DOAS, ЕД	Тр.ОС, ЕД	Поверх. О ₃ , ppb	H _{троп} , км
28.03.07	8 ^h 54 ^m	70.434	364.24			47.15	27.3	12.0
	10 47	58.459	363.57			36.06	40.2	
	13 12	47.469	361.39	344.2	356.0	44.13	48.8	
	14 46	52.131	363.94	353.2	363.2	46.72	65.9	
	16 51	67.169	363.54			46.33	64.0	
	17 51	76.192	359.91			43.54	56.5	
	18 21	80.375	366.27			44.93	57.3	
23.04.07	9 22	57.622	411.01			48.06	18.7	12.5
	11 15	43.200	410.30			47.34	32.8	
	14 35	42.879	410.27	412.0**	414.5	47.30	44.1	
	15 40	50.375	409.54	414.7	417.6	46.57	46.5	
09.06.07	6 39	75.28	348.37			38.40	20,	
	8 44	55.66	341.53			31.70	22	12.0
	11 56	29.93	346.05	347.6	349.6	35.47	42.8	
	16 08	45.92	352.76			36.38	51	
	17 53	62.42	349.56			39.56	57	
14.06.07	6 52	73.20	355.54			42.9	14	12.0
	7 05	71.21	351.04			44.75	13	
	9 05	52.25	352.81			39.81	15	
	12 06	28.96	348.72	347.6	349.6	42.86	46	
	17 45	60.75	357.36			44.76	50	
18.07.07	13 35	29.93	287.12	291.5	289.6	44.32	72	12.6
	14 52	36.16	294.07			51.27	85	
	16 10	46.62	290.91			49.37	95	
	17 20	58.23	294.39			51.60	67	
	18 15	66.19	292.85			50.09	58	
	19 27	77.39	296.60			53.80 53.55*	46	
29.09.07	10 35	57.722	269.21			29.96	13	13.0
	13 01	52.756	260.34	261.2	263.9	32.64	29	
	15 14	61.211	260.38			32.31	39	
	16 37	71.676	261.44	260.2	260.9	33.73	40	
	17 47	82.059	266.62			38.92	35	
01.10.07	8 08	79.704	271.75			30.31	8	12.5
	9 49	65.672	261.95			28.09	18	
	13 22	53.971	264.68	261.7	264.9	30.69	40	
	16 21	70.201	271.41			37.42	45	
	17 41	81.844	277.23			43.24	39	
2.10.07	8 31	76.545	279.16			40.43	8	12.5
	9 43	66.709	276.51			37.78	12	
	12 58	53.897	271.42	270.9	269.1	34.93	43	
	15 20	63.019	274.80			36.08 39.19*	47	

* TESL3 оценка тропосферного содержания озона.

** Оценка ОМІ общего содержания озона для 22.04.07 равна 448 ЕД

озона: имеет место утреннее титрование озона NO_x и довольно высокие концентрации озона позже днем. К сожалению, для этого данные Aura-TES отсутствуют, поэтому тропосферная часть входного профиля озона для моделирования была построена на основе среднемесячного профиля TEMIS.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы получили большой ряд оценок общего содержания озона из наземных наблюдений с инфракрасным фурье-спектрометром за 2005—2007 гг. Наши оценки общего содержания озона хорошо согласуются со спутниковыми данными Aura-OMI по содержанию озона. Различия составляют несколько процентов. Мы обращаем внимание на некоторые существенные различия при недостаточно ясном небе, что показывает на влияние облаков при наблюдениях с фурье-спектрометром. Проведен анализ наших восстановленных профилей озона для четырех репрезентативных случаев динамики тропосферного озона: двух весенних эпизодов повышенного общего содержания озона, летнего эпизода фотохимического производства озона и осеннего эпизода низкого содержания стратосферного озона. Рис. 3—6 демонстрируют специфические особенности каждого эпизода и ежедневную динамику тропосферного озона вследствие фотохимических процессов.

Этой работой мы делаем первый шаг к восстановлению атмосферных профилей озона на регулярной основе. Для этого мы нуждаемся в дальнейшем развитии нашей процедуры восстановления профилей.

Мы должны также выполнить тестирование наших модельных спектров, вычисленных с моделью сглаженной молекулярной полосы, путем расчетов "line-by-line" подобно известной программе FASCODE. Поскольку эта программа нам недоступна, мы разрабатываем свою собственную программу, которая будет работать в ближайшее время. Требуется разработки и процедура количественного сравнения наших восстановленных профилей с другими доступными данными.

Авторы из ГАО НАНУ благодарны координатору проекта ESA-NIVR-KNMI OMI-АО, д-ру Марку Крону, за его постоянное внимание и помощь. Все авторы благодарны администрациям веб-страниц AVDC, Aura-MLS, Aura-TES и Aqua-AIRS за обеспечение необходимых спутниковых данных по зондированию атмосферы. Работа авторов из ГАО НАНУ была частично поддержана грантом НТЦУ (2005—2007 гг.) и Национальным космическим агентством Украины (2007 г.).

1. Ежевская Т. Б., Власов А. М., Бубликов А. В. Инфракрасный фурье-спектрометр "Infralum FT-801" // Наука производству.—2001.—№ 12.—С. 38—41.
2. Bernstein L. S., Berk A., Acharya P. K., et al. Very Narrow Band Model Calculations of Atmospheric Fluxes and Cooling Rates // J. Atmos. Sci.—1996.—53.—P. 2887—2904.
3. Bhartia P. K., Wellemeyer C. TOMS-V8 Total O3 Algorithm, OMI ATBD, / Ed. by P. K. Bhartia. — NASA GSFC, Greenbelt, MD, OMI-ATBD-02, 2002.—Vol. II. OMI Ozone Product.—P. 15—31.
4. Fortuin J., Paul F., Kelder H. An ozone climatology based on ozonesonde and satellite measurements // J. Geophys. Res.—1998.—103.—P. 31709—31734.
5. Kroon M., Brinksma E. J., Labow G., Balis D. OMI-TOMS Total Ozone Column Validation Status April 2006 // RP-OMIE-KNMI-820. — May 2006 (Internal KNMI OMI document).
6. Levelt P. F., Hilsenrath E., Leppelmeier G. W., et al. Science Objectives of the Ozone Monitoring Instrument // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.—2006.—44, N 5.—P. 1199—1208.
7. Levelt P. F., van den Oord G. H. J., Dobber M. R., et al. The Ozone Monitoring Instrument // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.—2006.—44, N 5.—P. 1093—1101.
8. Perner D., Platt U. Detection of Nitrous Acid in the Atmosphere by Differential Optical Absorption // J. Geophys. Res.—1979.—6.—P. 917—920.
9. Rothman L. S., Jasquart D., and B. Et al., The HITRAN 2004 molecular spectroscopic database // J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer.—2005.—96.—P. 139—204.
10. Schoeberl M. R., Douglass A. R., Hilsenrath E., et al. Overview of the EOS Aura Mission // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.—2006.—44, N 5.—P. 1066—1074.
11. Shavrina A. V., Veles A. A. Remote sensing of some greenhouse gases by Fourier spectrometry in Kyiv // J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer.—2004.—88.—P. 345—350.
12. Shavrina A. V., Pavlenko Ya. V., Veles A., et al. Ozone columns obtained by ground-based remote sensing in Kiev for Aura Ozone Measuring Instrument validation // J. Geophys. Res.—2007.—112, N D24.—P. 45.
13. Veefkind J. P., de Haan J. F., Brinksma E. J., et al. Total ozone from the Ozone Monitoring Instrument (OMI) using the OMI-DOAS technique // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.—2006.—44, N 5.—P. 1239—1244.

TROPOSPHERIC OZONE COLUMNS AND OZONE PROFILES FOR KYIV IN 2007

*A. V. Shavrina, Ya. V. Pavlenko, A. A. Veles,
V. A. Sheminova, I. I. Synyavski, M. G. Sosonkin,
Ya. O. Romanyuk, N. A. Eremenko, Yu. S. Ivanov,
O. A. Monsar, M. Kroon*

The ground-based FTIR observations were performed at the Main Astronomical Observatory of NASU within the framework of the ESA-NIVR-KNMI project 2907 entitled «OMI validation by ground based remote sensing: ozone columns and atmospheric profiles» for the purpose of OMI data validation. FTIR observations were carried out during August — October 2005, June — October 2006 and March — October 2007, mostly under cloud free and clear sky conditions and in some days from early morning to sunset covering a large range of solar zenith angles. Ozone column and ozone profile data were obtained for the year 2005 using spectral modeling of the ozone spectral band profile near 9.6 microns with the MODTRAN3 band model based on the HITRAN-96 molecular absorption database. The total ozone column values retrieved from FTIR observations are biased low

with respect to OMI-DOAS data by 8—10 DU on average, where they have a relatively small standard error of about 2 %. FTIR observations for the year 2006 were simulated by MODTRAN4 modeling. For the retrieval of ozone column estimates and particularly ozone profiles from our FTIR observations, we used the following data sources as input files to construct the information for the model (a priori): satellite Aqua-AIRS water vapor and temperature profiles; Aura-MLS stratospheric ozone profiles (version 1.5), TEMIS [4] climatological ozone profiles and the simultaneously performed surface ozone measurements. Ozone total columns obtained from our FTIR observations for year 2006 with MODTRAN4 modeling are matching rather well with OMI-TOMS and OMI-DOAS data where standard errors are 0.68 % and 1.11 %, respectively. AURA-MLS data of version 2.2 which became available in 2007 allow us to retrieve tropospheric ozone profiles. For some days Aura-TES tropospheric profiles were also available and were compared with our retrieved profiles for validation. A preliminary analysis of troposphere ozone variability was performed. The observations from March to October demonstrate daily photochemical variability of tropospheric ozone and reveal mixing processes during the night.