

М.В. Гришаев, В.В. Зуев, И.В. Пташник, С.В. Смирнов

РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНЕНИЯ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА ПО ДАННЫМ УФ-СПЕКТРОФОТОМЕТРА С УЗКОНАПРАВЛЕННОЙ ПРИЕМНОЙ АНТЕННОЙ И СЕТЕВОГО ОЗОНОМЕТРА М-124

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 30.12.98 г.

Принята к печати 9.03.99 г.

Обсуждается использование УФ-спектрофотометра с узким полем зрения для восстановления общего содержания озона по результатам измерений спектральной яркости неба в зените. Дано краткое описание аппаратуры и методик измерений и обработки экспериментальных данных. Проведено сравнение результатов восстановления общего содержания озона с данными озонометра М-124.

Введение

Проблема атмосферного озона занимает одно из приоритетных научных направлений на Сибирской лидарной станции Института оптики атмосферы СО РАН. Обладая способностью сильно поглощать ультрафиолетовую радиацию, озон играет чрезвычайно важную роль в радиационных и физико-химических процессах, определяет термический режим стратосферы, предотвращает попадание биологически активного жесткого ультрафиолетового излучения на поверхность Земли. Процесс разрушения стратосферного озонового слоя, образование и распространение озоновых аномалий (озоновых дыр) над Антарктидой, Европой и Сибирью вызвали необходимость организации мониторинга в планетарном масштабе. На сети наземных озонометрических станций используются озонометры Добсона и Брюера. На территории России применяется фильтровой озонометр М-124. В то же время многие научные коллективы в настоящее время используют пассивные методы зондирования атмосферы [1–4], которые не требуют дорогостоящего оборудования и позволяют вести наблюдения в автоматическом режиме.

В данной статье обсуждается возможность использования для измерений спектральной яркости неба в зените высокочувствительного спектрофотометра с оптической приемной антенной, обеспечивающей узкое поле зрения и высокое спектральное разрешение в диапазоне длин волн 280–340 нм. Это позволяет решать уравнение переноса с учетом только однократного рассеяния. Представлены полученные результаты определения общего содержания озона (ОСО) в сравнении с данными озонометра М-124 на Сибирской лидарной станции Института оптики атмосферы СО РАН.

Аппаратура и методика измерений

Структурная схема спектрофотометра приведена на рис. 1. Рассеянное в зените солнечное излучение собирается зеркальным телескопом с диаметром зеркала 30 см, построенным по схеме Кассегрена, и направляется поворотным зеркалом 2 на входную щель 4 монохрома-

тора МДР-23. Светофильтр 3 обеспечивает пропускание в диапазоне 250–360 нм и необходим для устранения высших порядков монохроматора. Спектры записываются в диапазоне 260–340 нм, спектральное разрешение 0,2 нм, шаг сканирования 0,01 нм. Сигнал регистрируется ФЭУ-71, который работает в режиме формирования одноэлектронных импульсов. Одноэлектронные импульсы усиливаются широкополосным усилителем до амплитуды 0,5 В. Амплитудный дискриминатор осуществляет преобразование выходных импульсов усилителя, превышающих порог, в стандартный сигнал для запуска 8-разрядного двоичного счетчика. Амплитудный отбор импульсов позволяет улучшить отношение сигнал-шум и снизить влияние помех.

Счетчик одноэлектронных импульсов реализован на 8-разрядном двоичном счетчике и двух таймерах однокристалльного микроконтроллера. Первый таймер микроконтроллера настроен на отсчет времени накопления, а второй считает количество переполнений в 8-разрядном двоичном счетчике. По завершении интервала времени накопления микроконтроллер передает в линию связи с компьютером два байта количества переполнений (один цикл переполнения соответствует 256 одноэлектронным импульсам) и один байт содержания 8-разрядного счетчика. Затем счетчик сбрасывает и выдает команду готовности к новому циклу накопления одноэлектронных импульсов. Управление работой таймеров, высоковольтного источника питания, шагового двигателя синусного механизма монохроматора, затвора и прием-передача команд и данных осуществляются однокристалльным микроконтроллером типа 89C51 фирмы Intel по программе, записанной в память микроконтроллера. Управляющий компьютер выдает команды на установку решетки монохроматора в начало диапазона, включает источник питания высокого напряжения, закрывает затвор и приводит измерение темнового тока, после чего компьютер запускает контроллер в режим измерений и принимает данные. По окончании измерения данные записываются в файл на магнитный носитель и используются в дальнейшем как входная информация для программы расчета ОСО.

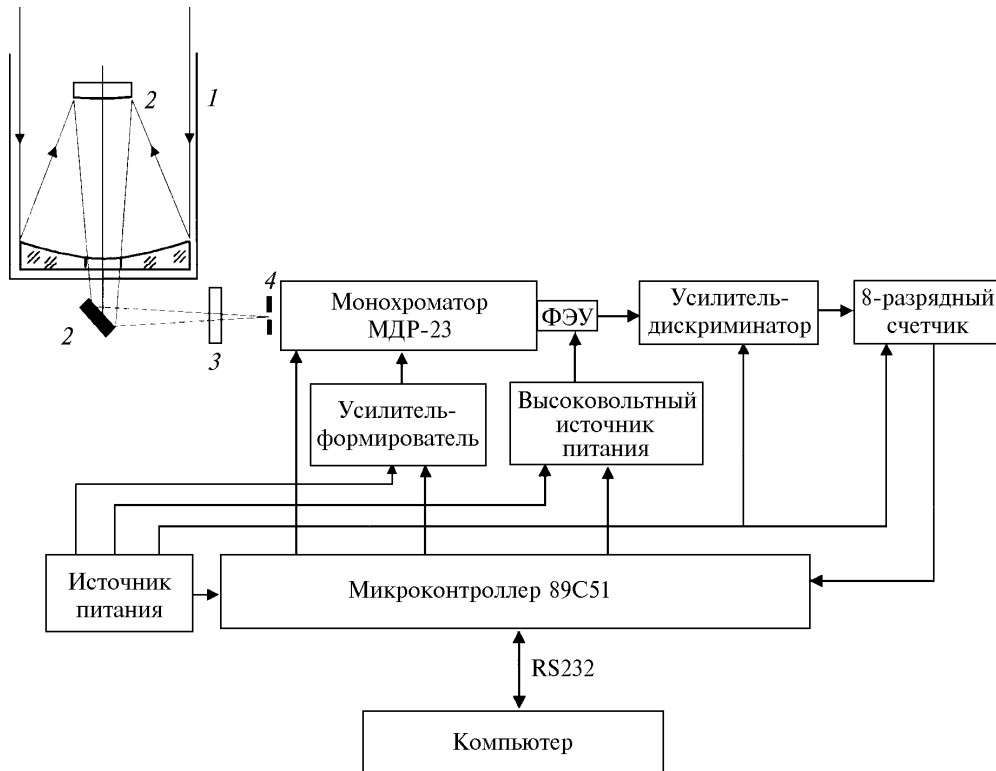


Рис. 1. Структурная схема спектрофотометра: 1 – телескоп; 2 – поворотное зеркало; 3 – светофильтр; 4 – входная щель монохроматора

Методика восстановления общего содержания озона

Определение ОСО основано на решении уравнения переноса в приближении однократного рассеяния. Рассеянное в зените солнечное излучение, регистрируемое спектрофотометром, можно описать уравнением

$$I(\lambda) = S_0(\lambda) C(\lambda) \int_{\Delta\lambda} d\lambda' h(\lambda - \lambda') \int_0^H d(\lambda', \theta, z) \times \exp \left[- \int_0^z \alpha_{\Sigma}(\lambda, z') dz' - \int_z^H B(z, z', \theta) \alpha_{\Sigma}(\lambda, z') dz' \right] dz; \quad (1)$$

$$\alpha_{\Sigma}(\lambda, z) = k_g(\lambda, z) \rho_g(z) + \alpha_a(\lambda, z) + \alpha_m(\lambda, z) + \sum_{i \neq g} k_i(\lambda, z) \rho_i(z);$$

$$d(\lambda, \theta, z) = \alpha'_a(\lambda, z) g_a(\theta) + \alpha_m(\lambda, z) g_m(\theta);$$

$$B(z, z', \theta) = 1 / \sqrt{1 - \left(\frac{R+z}{R+z'} \frac{n(z)}{n(z')} \sin \theta \right)^2},$$

$S_0(\lambda)$ – солнечная постоянная; $C(\lambda)$ – аппаратная функция, включающая угол поля зрения приемной системы, площадь приемного зеркала, пропускание оптики, квантовую эффективность ФЭУ и другие параметры; θ – зенитный угол Солнца; $d(\lambda, \theta, z)$ – суммарный коэффициент аэрозольного и молекулярного рассеяния под углом θ от первоначального направления на высоте z от уровня моря; $k_g(\lambda, z)$ и $k_i(\lambda, z)$ – высотные профили коэффициентов поглощения исследуемого газа и i -й мешающей газовой ком-

поненты; H – эффективная верхняя граница атмосферы; $\rho_g(z)$ и $\rho_i(z)$ – высотные профили плотностей исследуемого и мешающих газов; $\alpha'_a(\lambda, z)$ и $\alpha_m(\lambda, z)$ – профили коэффициентов аэрозольного и молекулярного светорассеяния; $g_a(\theta)$ и $g_m(\theta)$ – соответствующие индикатрисы рассеяния; $\alpha_a(\lambda, z)$ – коэффициент аэрозольного ослабления; R – радиус Земли; $h(\lambda - \lambda')$ – аппаратная функция прибора. Полагая, что в интервале $\Delta\lambda = 0,1$ нм изменением оптических характеристик можно пренебречь [5], влияние аппаратной функции на результаты интерпретации данных далее не рассматриваются.

Вводя далее общее содержание газа в вертикальном столбе атмосферы как

$$X = \int_0^H \rho_g(z) dz,$$

полагая k_g не зависящим от высоты, т.е. заменяя его на среднее эффективное значение

$$k_g(\lambda, z) = k_g(\lambda) = \frac{\int k_g(\lambda, z) \rho_g(z) dz}{\int \rho_g(z) dz},$$

и логарифмируя (1), получим

$$X = \frac{1}{k_g(\lambda)} \left\{ \ln \left[\frac{S_0(\lambda) C(\lambda)}{I(\lambda)} \right] - [\tau_a(\lambda) + \tau_m(\lambda) + \tau_j(\lambda)] + \ln[JS(\lambda, \theta)] \right\}$$

$$JS(\lambda, \theta) = \int_0^H d(\lambda, \theta, z) \exp \left\{ \int_z^H \alpha_{\Sigma}(\lambda, z') [1 - B(z, z', \theta)] dz' \right\} dz.$$

$$\tau_a(\lambda) = \int_0^H \alpha_a(\lambda, z) dz, \quad \tau_m(\lambda) = \int_0^H \alpha_m(\lambda, z) dz,$$

$$\tau_f(\lambda) = \int_0^H \sum_{i \neq g} k_i(\lambda, z) \rho_i(z) dz$$

– вертикальные оптические толщи, обусловленные соответственно аэрозольным ослаблением, молекулярным рассеянием и поглощением мешающих газовых составляющих.

Используя модельные профили озона k_g [6], литературные данные о S_0 [8] и модели α_a , α_m , α_f , g_a , g_m [7], можно восстановить общее содержание озона из данных, полученных спектрофотометром. Более подробные математические выкладки и оценку погрешностей вычислений можно найти в работе [9].

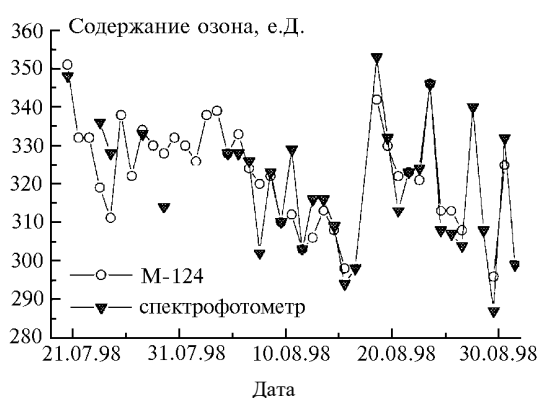


Рис. 2. СОСО, измеренное УФ-спектрофотометром и озонометром М-124

Экспериментальные результаты в сравнении с данными озонометра М-124

На рис. 2 приведены ряды восстановленных значений СОСО из измерений спектральной яркости неба в зените озонометром М-124 и спектрофотометром. Сравнение проводится по трем периодам. Первый период (с 23 по 30 июля) связан с настройкой аппаратуры и характеризуется неустойчивым восстановлением СОСО. Второй период начинается с 3 августа, когда установилась ясная погода, однако через два дня появилась облачность, а 17–19 августа были кратковременные дожди, которые не позволили обеспечить непрерывный ряд. Третий период (с 19 по 30 августа) характеризуется резкими изменениями СОСО в атмосфере. Общее количество совместных дней наблюдений составило 32. Из рис. 2 видно, что оба прибора одинаково отслеживают тенденции в изменчивости СОСО и в основном близки по его значениям. Рассчитанный для этого

M.V. Grishaev, V.V. Zuev, I.V. Ptashnik, S.V. Smirnov. Comparative Results for Ozone Total Content on Evidence Obtained with UV-Spectrophotometer with Narrow-beam Optical Receiving Antenna and Netting Ozonometer M-124.

An application of a narrow vision field UV-spectrophotometer to reconstructing the ozone total content from the measurements of sky spectral brightness in zenith is discussed in the paper. A short description of instrumentation is given. The results of the ozone total content reconstruction are compared with the data of ozonometer M-124.

массива данных коэффициент корреляции составил 0,769. На рис. 3 представлена разница в значениях СОСО, полученных двумя приборами. Видно, что практически все точки не выходят за интервал $\pm 5\%$. При этом следует отметить, что дни с максимальными отклонениями характеризуются наличием разорванной облачности, которая вносила существенный вклад во флуктуацию измеряемых сигналов.

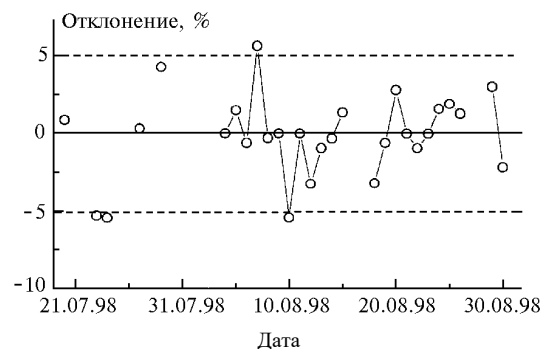


Рис. 3. Разница между СОСО по данным УФ-спектрофотометра и озонометра М-124

Таким образом, результаты сравнения показали, что разработанный спектрофотометр с узконаправленной приемной оптической антенной обеспечивает измерения СОСО по зениту неба с приемлемой точностью. Дальнейшее улучшение характеристик прибора возможно при введении корреляции на модуляцию сигнала облачностью и при повышении чувствительности на длинах волн короче 280 нм.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №96-05-64282).

1. Перов С.П., Хргиан А.Х. Современные проблемы атмосферного озона. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. 288 с.
2. Шаламянский А.М., Ромашина К.И. // Труды ГГО. 1980. Вып. 445. С. 116–123.
3. Гуцин Г.П., Соколенко С.А. // Труды ГГО. 1984. Вып. 472. С. 31–35.
4. Ромашина К.И. // Труды ГГО. 1980. Вып. 472. С. 100–107.
5. Большакова Л.Г. // Изв. АН СССР. Сер. ФАО. 1976. Е.12. №9. С. 969–978.
6. Ипполитов И.И., Комаров В.С., Мицель А.А. // Спектроскопические методы зондирования атмосферы. Новосибирск: Наука, 1985. С. 4–44.
7. Креков Г.М., Рахимов Р.Ф. Оптическая модель атмосферного аэрозоля. Томск: Изд. ТФ СО АН, 1986. 294 с.
8. Arvesen J.C., Griffin R.N., Pearson B.D. // Appl. Opt. 1969. V. 8. N 11. P. 2215–2232.
9. Долгий С.И., Зув В.В., Маричев В.Н., Мицель А.А., Пташник И.В., Сорокин В.П. // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 9. № 5. С. 609–626.