

НАЗЕМНЫЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОЙ РАДИАЦИИ В КИШИНЕВЕ, МОЛДОВА

А. Акулинин ¹⁾, А. Смирнов ²⁾, В. Смыков ¹⁾, Т. Эк ²⁾, А. Поликарпов ¹⁾

¹⁾ Исследовательская группа по мониторингу атмосферы, Институт Прикладной Физики АН Молдовы, ул. Академией 5, Кишинев, МД-2028 Молдова;

тел.: + 373 22 738187, факс: + 373 22 738149, e-mail: akulinin@phys.asm.md

²⁾ Goddard Earth Sciences and Technology Center, University of Maryland, Baltimore County, NASA/Goddard Space Flight Center, Code 923, Greenbelt, MD 20771, USA

tel.: (301)-614-6626, fax: (301)-614-6695, e-mail: asmirnov@ltpmail.gsfc.nasa.gov

1. Введение

Представлена информация о наземном многофункциональном измерительном комплексе, предназначенном для мониторинга атмосферной радиации, и расположенном в городской черте Кишинева, Молдова. Комплекс предназначен для длительного непрерывного мониторинга радиационных свойств атмосферы и создания базы данных измерений солнечной радиации в широком спектральном диапазоне.

2. Оборудование измерительного комплекса и принцип измерений

Для решения задач, связанных с длительным непрерывным мониторингом радиационных свойств атмосферы и накоплением наборов данных измерений солнечной радиации в широком спектральном диапазоне, впервые в Молдове был создан наземный многофункциональный измерительный комплекс (см. Рис. 1). Комплекс расположен на крыше здания Института прикладной физики АН Молдовы в городской черте Кишинева, Молдова ($\varphi=47.0013^{\circ}\text{N}$, $\lambda=28.8156^{\circ}\text{E}$, $h=205\text{ m a.s.l}$).



Рис. 1. Наземный многофункциональный измерительный комплекс

Автоматизированный многофункциональный измерительный комплекс создан на базе электронно-механических элементов и датчиков излучения, серийно выпускаемых компанией Kipp&Zonen (The Netherlands). Все датчики радиации и отдельные элементы измерительного комплекса имеют сертификат ISO 9001 и сертифицированы в соответствии с требованиями WMO [1] для использования на сетевых станциях. Используемые датчики солнечного излучения имеют вторичный стандарт (Secondary Standard) и первый класс (First Class). Данный комплекс позволяет проводить измерения солнечной радиации в широком спектральном диапазоне: от ультрафиолетовой (UV-B) до инфракрасной (IR) границы спектра в отдельных спектральных поддиапазонах. Выбранные поддиапазоны соответствуют спектральным характеристикам датчиков излучения (см. Таблицу 1).

Таблица 1. Датчики излучения, используемые в измерительном комплексе

Тип датчика	Измеряемые компоненты	Тип радиации	Спектральный диапазон
UV-S-B-C	диффузная, глобальная	UV-B радиация	280 - 315 нм
UV-S-A-C	глобальная	UV-A радиация	315 - 400 нм
PAR Lite	глобальная	фотосинтетически активная радиация (PAR)	400 - 700 нм
SP Lite	глобальная	видимое и ближнее инфракрасное излучение	400 - 1100 нм
CM-11	диффузная, глобальная	солнечная радиация	305 - 2800 нм
CH-1	прямая	солнечная радиация	200 - 4000 нм
CG-1	глобальная	собственное излучение атмосферы	4,5 - 42 мкм

Комплекс позволяет проводить измерения диффузной, прямой и глобальной солнечной радиации. Измерения диффузной и прямой компонент солнечной радиации проводятся с использованием датчиков UV-S-B-C , CM-11 и CH-1, которые расположены на подвижной платформе автоматической системы 2AP BD слежения за солнцем (см. Рис. 2).



Рис. 2. Подвижная платформа с датчиками излучения

Остальные датчики расположены на стационарной платформе и используются для измерения глобальной компоненты солнечного излучения (см. Рис. 3). Выбор типов датчиков излучения, их спектральные характеристики, схемы расположения датчиков по типу платформ, места наблюдения и методов измерений солнечного излучения в различных

спектральных поддиапазонах определялся в соответствии с требованиями WMO[1], и руководствами по проведению измерений, которые используются Global Atmospheric Watch (GAW) и Baseline Surface Radiation Network (BSRN) [2,3].

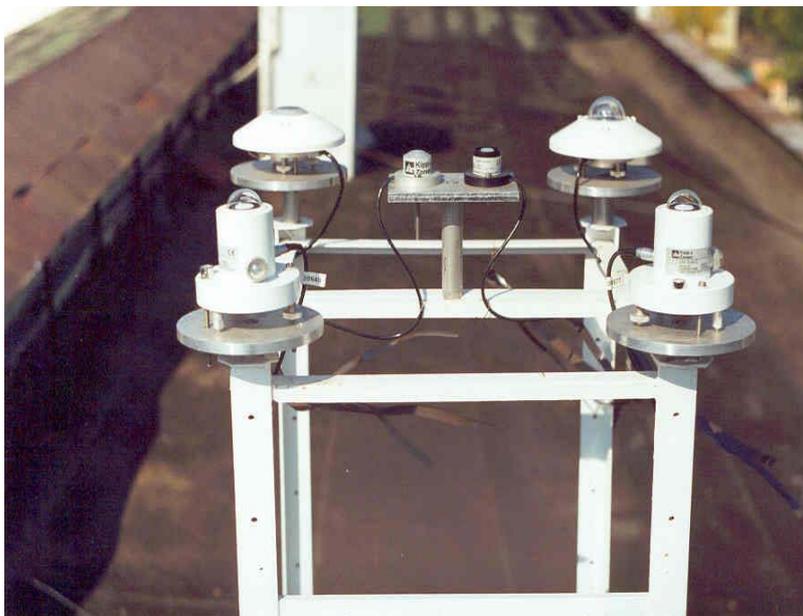


Рис. 3. Стационарная платформа с датчиками излучения

Сбор данных, их предварительная обработка и накопление производится устройством записи и выдачи данных CR10X с 6 дифференциальными регулируемыми входными каналами и с объемом встроенной энергонезависимой памяти – 128 Кб. Аналоговый вход каждого канала регулируется по уровню входного сигнала, определяя в конечном счете разрешение сигнала в диапазоне от 0.33 до 333 мкV. Устройство CR10X установлено на стационарной платформе и через 32х канальный мультиплексор AM25T (см. Рис. 4) соединено с каждым датчиком радиации. Датчики излучения расположены на расстоянии не более 7 метров от CR10X .

Для получения высокой точности измерений сигналов датчиков радиации используются дифференциальные каналы устройств CR10X и AM25T. Количество рабочих дифференциальных каналов, связанных с датчиками – 9. Частота опроса каналов – 1 Гц, время выборки для последующего осреднения – 1 минута. Наборы данных измерений из модуля памяти SM4M (объем памяти 4Мб) считываются удаленным (на 20 м) компьютером. Поток исходных данных измерений, осредненных за 1 минуту и часовые суммы для каждого датчика излучения, составляет 4 – 6 Мб/месяц. Для предотвращения сбоев в измерении и обработки сигналов в случае отключения электропитания, система снабжена автономным питанием от аккумуляторной 12V батареи. Основное питание: от преобразователя сетевого напряжения 220V/12V.



Рис.4. Устройство записи и выдачи данных CR10X и мультиплексор AM25T



Рис. 5. Автоматическая метеостанция MiniMet (Skye Instruments, Ltd., U.K.)

Данные радиационных измерений дополняются основными метеорологическими величинами (температура, влажность, давление, скорость и направление ветра, освещенность в диапазоне 280-315 нм и 400-1100 нм), полученными на автоматической метеостанции MiniMet, Skye Instruments, Ltd., U.K. (см. Рис. 5). Сбор данных, их предварительная обработка и накопление производится устройством записи и выдачи данных DataHog2, которое соединено с каждым датчиком метеостанции. Количество рабочих каналов, связанных с датчиками – 7. Частота опроса каналов – 0.1 Гц, время выборки для последующего осреднения – 5 минут. Наборы данных измерений из модуля памяти устройства записи и выдачи данных DataHog2 (объем памяти - 128 Кб) считываются удаленным (на 20 м) компьютером. Поток исходных данных измерений, осредненных за 5 минут для каждого датчика, составляет ~ 1.5 Мб/месяц.

Автоматическая метеостанция MiniMet расположена в 30 метрах от измерительного комплекса, чтобы не оказывать затеняющего воздействия на датчики излучения. Для обеспечения непрерывности измерений метеостанция снабжена автономной системой питания от щелочных батарей типа 'С' и от преобразователя сетевого напряжения 220V/12V.

Кроме того, на измерительной станции проводятся регулярные измерения общего содержания озона с использованием ручного спектрофотометра MICROTOPS II Ozonemeter (Solar Light). Оптическая схема прибора оснащена высококачественными и стабильными интерференционными фильтрами (ионная технология нанесения покрытия) для длин волн 305, 312, 320, 936 & 1020 нм; оптическая схема с фильтрами встроена в литой алюминиевый корпус, что обеспечивает жесткость системы, гарантирует высокую точность оптических измерений, стабильность оптических элементов и юстировку оптической системы. MICROTOPS II Ozonemeter представляет собой ручной компактный спектрофотометр (см. Рис. 6) для одновременного измерения прямой солнечной ультрафиолетовой радиации в UV-B диапазоне для 3 дискретных длин волн (305, 312 и 320 нм) и общего содержания озона в атмосфере точно и надежно, а также для измерения общего содержания водяного пара (936 нм) и спектральную оптическую толщину (1020 нм). Электронная система спектрофотометра MICROTOPS II Ozonemeter имеет низкий уровень шумов и оснащена 20 bit A/D преобразователем, что обеспечивает в конечном счете высокую точность измерений (< 2% для определения общего содержания озона), сравнимую с точностью измерений для более крупного и дорогостоящего



Рис. 6. Озонометр MICROTOPS II Ozonemeter (Solar Light Co., Inc., USA).

озонметрического оборудования. Спектрофотометр имеет встроенную энергонезависимую память для хранения обработанных данных измерений, и может быть соединен с компьютером через RS232- порт для передачи данных. Благодаря мобильности озонметра и возможности быстрого выполнения измерений (~ 10 - 30 сек, в зависимости от длины выборки измерений, которую можно регулировать), MICROTOPS II Ozonemeter успешно используется для измерений общего содержания озона в атмосфере, в особенности в условиях разорванной облачности. Измерения общего содержания озона проводятся преимущественно в кульминации солнца (околополуденные часы) с минимальной воздушной массой или в часы с подходящими метеоусловиями (наличие разрывов облачности). MICROTOPS II Ozonemeter позволяет проводить измерения содержания озона для величин воздушной массы до $m = 3-3,5$. Для дней, характеризующихся высокой прозрачностью атмосферы, проводятся одновременные измерения прямой солнечной ультрафиолетовой радиации для 3 дискретных длин волн 305, 312 и 320 нм с временным интервалом 5 - 10 минут для последующего использования в калибровочных измерениях по методу Langley.

В рамках совместных исследований оптических свойств атмосферы по программе AERONET [4-9] в регионе Молдовы, NASA/GSFC предоставила оборудование - солнечный фотометр Cimel CE-318. В настоящее время Cimel CE-318 (см. Рис. 7) располагается на крыше здания Института вблизи многофункционального измерительного комплекса. Начиная с 1999 года с использованием солнечного фотометра Cimel CE-318 на станции проводятся регулярные измерения:

- спектральной аэрозольной прозрачности атмосферы на 7 длинах волн в видимой области спектра, $\lambda = 340, 380, 440, 500, 670, 870$ и 1020 нм;
- яркости неба в альмукантарате и в плоскости солнечного вертикала на 4-х длинах волн $\lambda = 440, 670, 870$ и 1020 нм;
- общего содержания водяного пара в атмосфере,

представленные на сайте <http://aeronet.gsfc.nasa.gov> .



Рис. 7. Солнечный фотометр Cimel CE-318 в работе на станции наблюдения в Кишиневе.

Данные измерений будут использованы для восстановления следующих оптико-микрофизических характеристик аэрозоля, осредненных по всей толще атмосферы:

- аэрозольной оптической толщины;
- параметра Ангстрема (как характеристики спектральной зависимости оптической толщины);
- интегрального содержания водяного пара в атмосферном столбе;
- функции распределения аэрозольных частиц по размерам;
- комплексного показателя преломления вещества аэрозольных частиц;
- альбедо однократного рассеяния.

Накопленные и обработанные данные найдут применение

- в моделировании и изучении радиационного режима атмосферы, определении количественных и качественных характеристик аэрозольной компоненты атмосферы, в моделировании переноса излучения в реальной атмосфере с учетом аэрозоля;
- в моделировании климатических изменений в региональном и глобальном масштабе;
- для подтверждения и коррекции данных спутниковых наблюдений аэрозоля;
- для мониторинга и определения динамики трансформации и перемещения аэрозоля в атмосфере;
- в качестве дополняющих наборов данных и вспомогательной базы данных для автоматических лидарных систем, сетей по радиационному мониторингу и мониторингу озона;
- для оценки трендов (месячных, сезонных, годовых) изменения оптических свойств атмосферы;
- для оценки степени загрязнения воздушного бассейна г. Кишинёва.

Мониторинг оптических свойств атмосферного аэрозоля в регионе Молдова проводится в рамках глобальной программы AERONET [4] под руководством д-ра Brent Holben, NASA/GSFC. Программа исследований рассчитана на долгосрочную перспективу.

3. Результаты измерений общего содержания озона и солнечной радиации

Непрерывные измерения основных метеорологических величин (температура, влажность, давление, скорость и направление ветра, освещенность в диапазоне 280 - 315 нм и 400 - 1100 нм) с использованием автоматической станции MiniMet, ведутся с 17 июня 2003 г. Регулярные измерения общего содержания озона с использованием ручного спектрофотометра MICROTOPS II Ozonemeter - с 7 июля 2003 г. Измерения солнечной радиации от ультрафиолетовой (UV-B) до инфракрасной (IR) границы спектра в отдельных спектральных поддиапазонах с использованием наземного многофункционального измерительного комплекса проводятся на станции с 19 сентября 2003 г. Результаты измерений общего содержания озона в атмосфере и диффузной и глобальной компонент солнечной UV-B (эритемальной) радиации регулярно вносятся в базу данных World Ozone and Ultraviolet Data Centre (WOUDC). Результаты измерений глобальной, диффузной и прямой компонент солнечной радиации в диапазоне 305 - 2800 нм и глобальной компоненты длинноволновой радиации (собственное излучение атмосферы) в диапазоне 4,5 – 42 мкм регулярно вносятся в базу данных World Radiation Data Centre (WRDC).

В статье представлены первые результаты измерений общего содержания озона в атмосфере и солнечной радиации, выполненные на наземной станции в г. Кишиневе.

Измерения общего содержания озона атмосфере проводятся на станции регулярно, преимущественно в околополуденные часы и в зависимости от состояния облачного покрова. Результаты измерений общего содержания озона атмосфере, выполненные с использованием озонметра MICROTOPS II Ozonemeter в период наблюдений за октябрь-декабрь 2003, представлены на Рис. 8. Для данного периода измерений наблюдается уменьшение общего

содержания озона, что характерно для времени года осень-зима в северном полушарии. В Таблице 2 приведены средние за месяц значения общего содержания озона в атмосфере, измеренные с использованием озонметра. Эти значения явно свидетельствуют о существовании тенденции сезонного изменения уровня общего содержания озона в атмосфере.

Таблица 2. Общее содержание озона (D.U.) в атмосфере, измеренное озонметром MICROTOPS II Ozonemeter в Кишиневе (период наблюдения: июль – декабрь 2003 г.).

июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
344	331	314	305	297	302

На этом фоне наблюдаются отдельные аномальные значения содержания озона, так например, 7 декабря 2003 эта величина была равна 411 D.U.

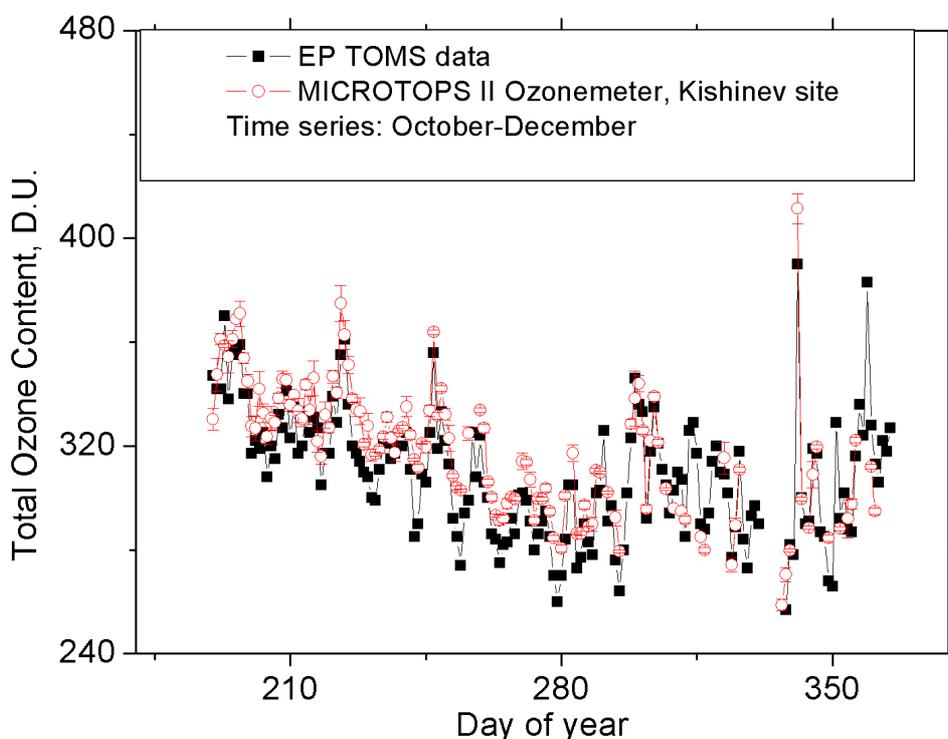


Рис. 8. Вариации общего содержания озона в атмосфере в период наблюдений: октябрь-декабрь 2003 г.

Здесь же на рисунке для сравнения, представлены данные дистанционного зондирования, полученные со спутника Earth Probe Total Ozone Mapping Spectrometry (EP TOMS) (см. <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>). Как видно из рисунка, существует постоянное смещение между данными измерений с использованием озонметра MICROTOPS II Ozonemeter и данными EP TOMS: показания для озонметра превышают аналогичные значения для EP TOMS. Среднее значение такого смещения для данного периода наблюдений составляет величину равную 9 D.U.

Изменения общего содержания озона в атмосфере и солнечной глобальной UV-B (эритемальной) радиации за период наблюдений декабрь 2003 г. представлены на Рис. 9. Измерения общего содержания озона и глобальной эритемальной радиации проводились

одновременно и в околополуденные часы. Как видно из рисунка, существует отчетливая зависимость между этими величинами: коэффициент корреляции $R = -0.881$.

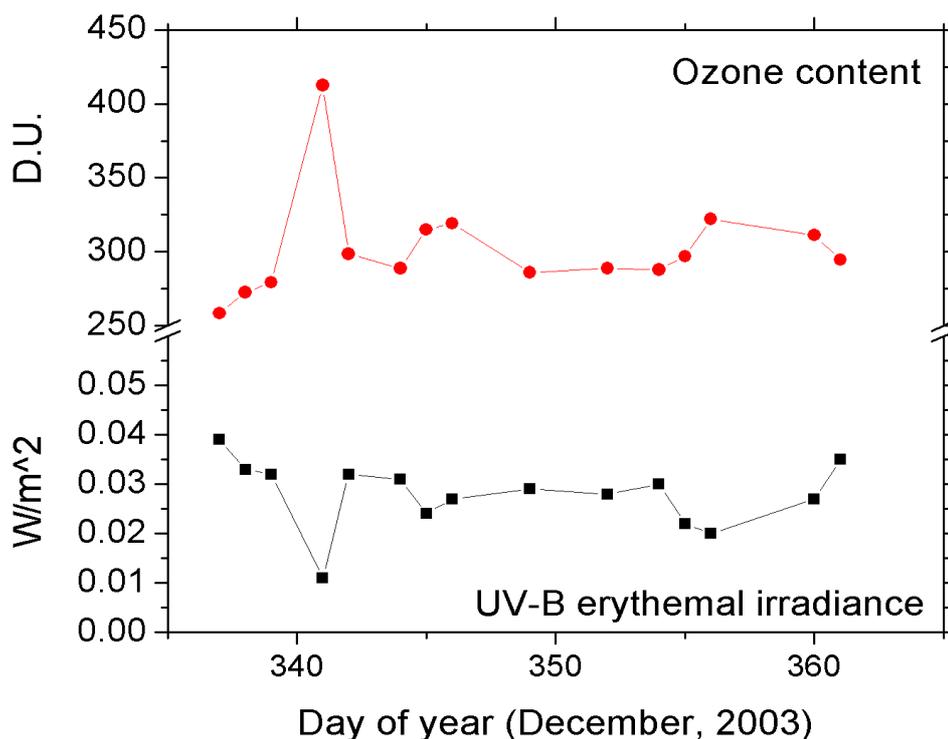


Рис. 9. Зависимость общего содержания озона в атмосфере и солнечной глобальной UV-B эритемальной радиации (период наблюдений: декабрь 2003 г.)

В Таблице 3 представлены результаты измерений месячных сумм солнечной глобальной Q_{UVB} и рассеянной D_{UVB} компонент UV-B эритемальной радиации и глобальной Q_{UVA} UV-A радиации на горизонтальную поверхность. Измерения компонент солнечной радиации проводились в осенне-зимний период: с октября по декабрь 2003 г. Показано существование минимума (декабрь 2003) для всех измеряемых компонент радиации, что обусловлено минимальной высотой солнца над горизонтом в декабре месяце.

Таблица 3. Месячные суммы солнечной глобальной Q_{UVB} и рассеянной D_{UVB} UV-B эритемальной радиации, кДж/м² месяц (спектральный диапазон: 280-315 нм) и глобальной Q_{UVA} UV-A радиации, МДж/м² месяц (спектральный диапазон: 315 - 400 нм) на горизонтальную поверхность.

	октябрь, 2003	ноябрь, 2003	декабрь, 2003	январь 2004
Q_{UVB} , глобальная радиация	38.40	11.54	9.65	11.48
D_{UVB} , рассеянная радиация	31.56	9.61	7.54	9.73
Q_{UVA} , глобальная радиация	19.63	7.90	7.18	11.07

На Рис. 10 представлен суточный ход часовых сумм глобальной радиации $\Sigma_h Q$ в относительных единицах (в процентах от суточных сумм $\Sigma_d Q$) в разные месяцы для Кишинева. Вид кривой суточного хода зависит от продолжительности дня: в зимнее время кривая суживается у основания и увеличивается по абсолютной величине в максимуме (в полдень).

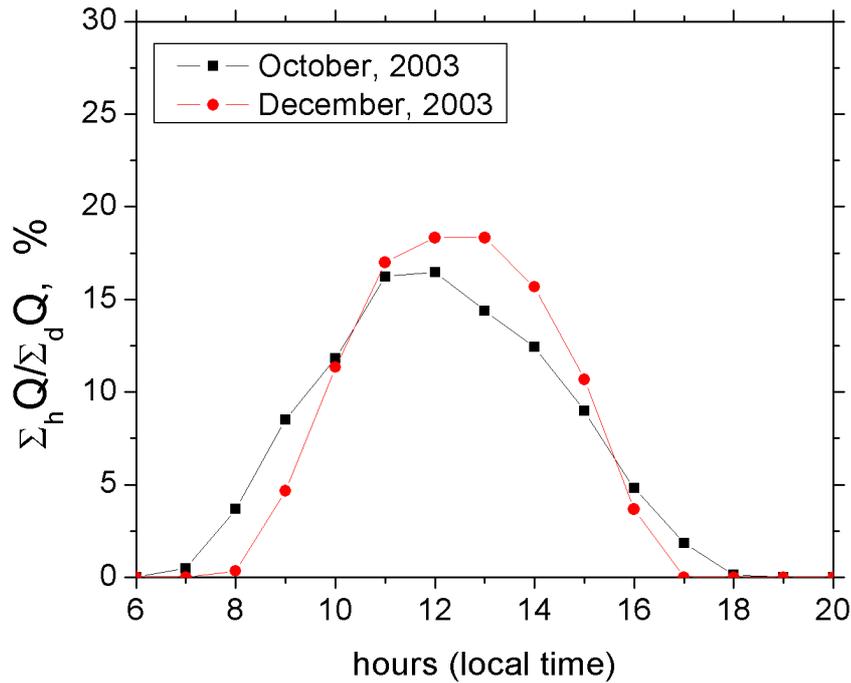


Рис. 10. Суточный ход часовых сумм глобальной радиации $\Sigma_h Q$ (в процентах от суточных сумм $\Sigma_d Q$).

На Рис. 11 показан суточный ход прямой, глобальной и диффузной компонент солнечного излучения, измеренных 20 октября 2003.

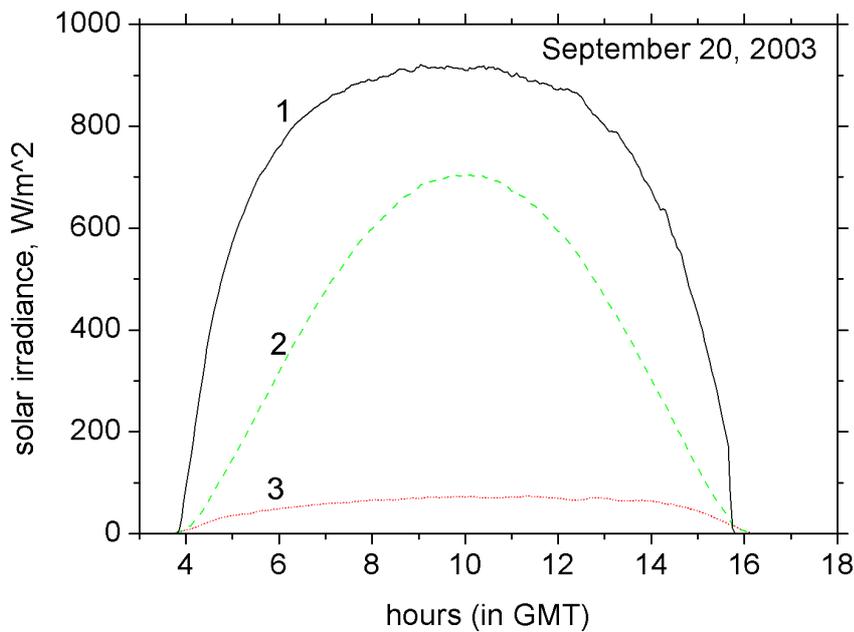


Рис. 11. Суточный ход прямой (1), глобальной (2) и диффузной (3) компонент солнечного излучения.

Данный день характеризовался высокой прозрачностью и стабильностью атмосферы (см. Таблицу 4): в утренние часы в направлении горизонта наблюдалась легкая дымка; в полдень

– высокая прозрачность атмосферы и последующее замутнение атмосферы в послеполуденные часы. С использованием озонметра MICROTOPS II Ozonemeter проводились одновременные измерения прямой солнечной ультрафиолетовой радиации для 3 дискретных длин волн 305, 312 и 320 нм в UV-B диапазоне. Измерения проводились с 05:55 GMT ($m=2.829$ AM) до 14:08 GMT ($m=3.010$ PM). В дальнейшем эти измерения использовались для вычисления калибровочных констант для озонметра MICROTOPS II Ozonemeter по методу Langley .

Таблица 4. Аэрозольная оптическая толщина τ на длине волны $\lambda=1020$ нм и воздушная масса m .

Время(летнее), GMT	05:55	07:59	09:51	12:00	14:08
$\tau(1020 \text{ нм})$	0.039	0.028	0.017	0.029	0.067
m , воздушная масса	2.829	1.640	1.433	1.657	3.010

На Рис. 12 представлены вариации солнечной глобальной радиации (305 – 2800 нм) на горизонтальную поверхность за период наблюдений: октябрь 2003 – январь 2004 г.г. Наблюдается характерное сезонное убывание освещенности с минимальными значениями в декабре.

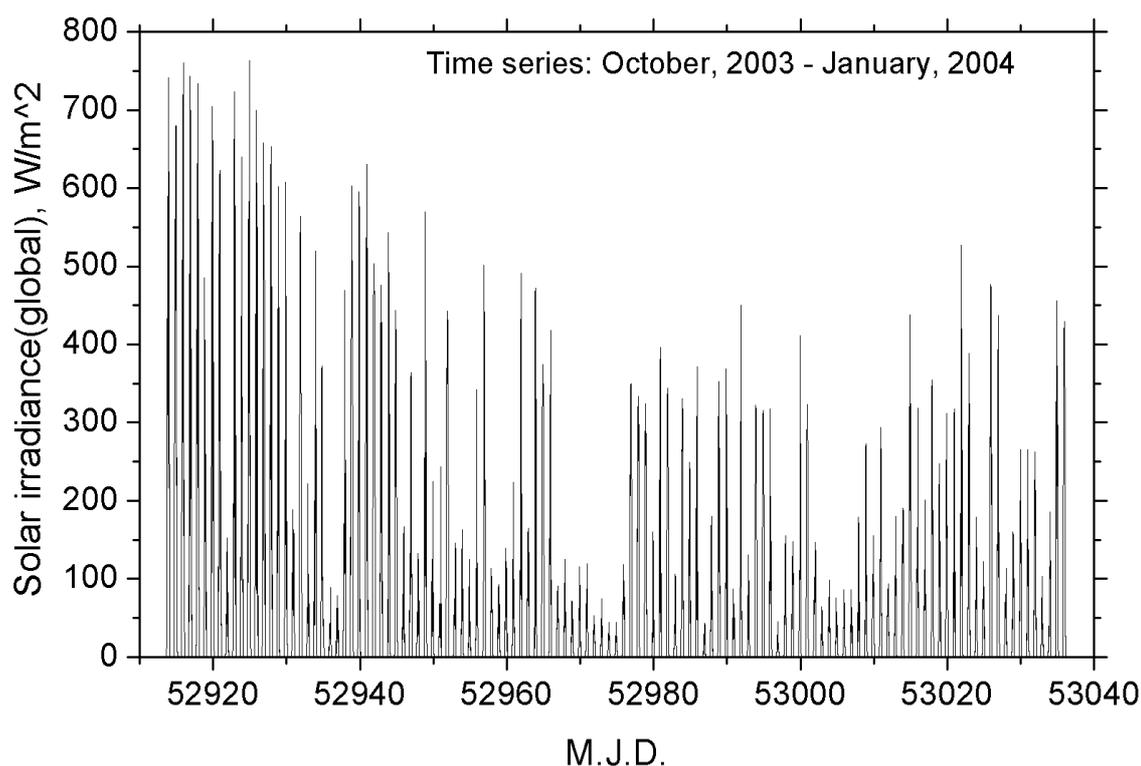


Рис. 12. Вариации глобальной радиации на горизонтальную поверхность (период наблюдений: октябрь 2003–январь 2004 г.г.)

В Таблице 5 представлены месячные суммы солнечной глобальной Q , рассеянной D и прямой S' компонент радиации на горизонтальную поверхность. В Таблице 6 приведены месячные суммы Q_{PAR} для солнечной глобальной компоненты фотосинтетически активной радиации (спектральный диапазон: 400 - 700 нм) на горизонтальную поверхность. В Таблице

7 приведены значения месячных сумм Q_{IR} для глобальной атмосферной радиации (спектральный диапазон: 4.5 - 42 мкм) на горизонтальную поверхность.

Таблица 5. Солнечная глобальная Q , рассеянная D и прямая радиация S' на горизонтальную поверхность, МДж/м² месяц (спектральный диапазон: 305 - 2800 нм).

	октябрь, 2003	ноябрь, 2003	декабрь, 2003	январь 2004
Q , глобальная радиация	251.9	84.4	93.1	104.7
D , рассеянная радиация	125.0	60.4	50.9	81.6
S' , прямая радиация	124.0	24.8	42.5	23.2

Таблица 6. Солнечная глобальная фотосинтетически активная радиация Q_{PAR} на горизонтальную поверхность, моль/м² месяц (спектральный диапазон: 400 - 700 нм).

	октябрь, 2003	ноябрь, 2003	декабрь, 2003	январь 2004
Q_{PAR} , глобальная радиация	0.1596	0.0557	0.0590	0.0688

Таблица 7. Глобальная атмосферная радиация Q_{IR} на горизонтальную поверхность, МДж/м² месяц (спектральный диапазон: 4.5 - 42 мкм).

	октябрь, 2003	ноябрь, 2003	декабрь, 2003	январь 2004
Q_{IR} , глобальная радиация	773.4	795.2	720.7	708.2

На Рис. 13 представлены данные многолетних наблюдений вариации аэрозольной оптической толщины τ_{500} за период 1999 – 2003 г.г., выполненные на станции наблюдения Кишинев, Молдова, с использованием солнечного фотометра Cimel CE-318. Среднее значение аэрозольной оптической толщины за этот период наблюдения составляет величину $\langle \tau_{500} \rangle = 0.25 \pm 0.10$.

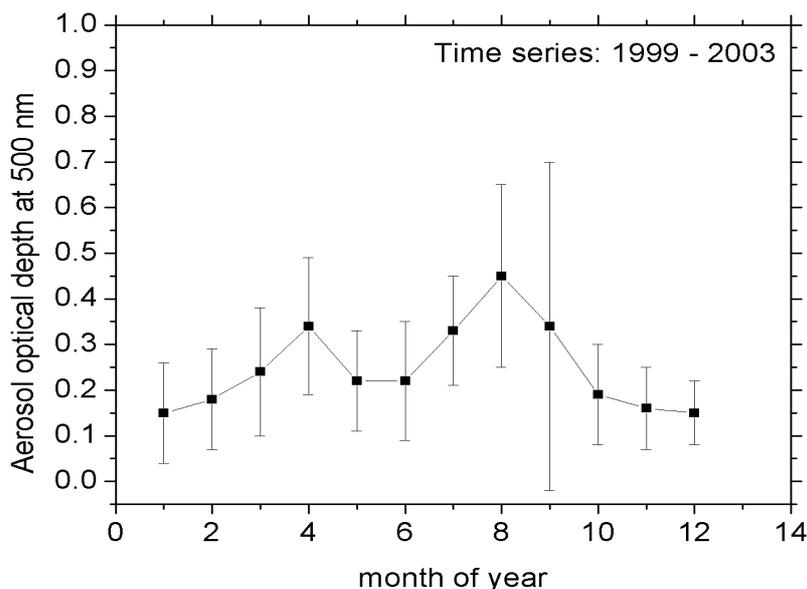


Рис. 13. Изменение аэрозольной оптической толщины на длине волны $\lambda = 500$ нм

4. Выводы

Для решения основных задач, связанных с долговременным непрерывным мониторингом радиационных свойств атмосферы и накоплением данных измерений солнечной радиации (глобальной, диффузной и прямой компонент) в широком спектральном диапазоне, исследовательской группой по мониторингу атмосферы создан наземный многофункциональный измерительный комплекс. Комплекс расположен в городской черте Кишинева на базе Института Прикладной Физики АН Молдовы. В настоящее время комплекс успешно функционирует. Данные измерений основных метеопараметров накапливаются с июня 2003 г., общего содержания озона – с июля 2003 г. и солнечной радиации в широком спектральном диапазоне – с октября 2003 г. Представлены первые результаты измерений. Использование датчиков излучения, имеющих вторичный стандарт (Secondary Standard) и первый класс (First Class) для измерений, методики измерения и обработки сигналов в соответствии с требованиями WMO, позволяет достигнуть точности конечных данных, необходимой для последующего использования их при моделировании и анализе результатов измерений.

Исследования проводятся при финансовой поддержке фонда CRDF/MRDA (грант ME2-3033). Отдельная благодарность д-ру Brent Holben, руководителю программы AERONET, NASA/GSFC, и его исследовательской группе за оказанное содействие в развертывании измерительной системы – солнечного фотометра Cimel-318 на территории Молдовы и обработке данных измерений.

Литература

1. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation/ Sixth edition; WMO-No. 8, 1996.
2. Global Atmosphere Watch (GAW) Measurements Guide, WMO TD No. 1073, July 2001.
3. Baseline Surface Radiation Network (BSRN) Operations Manual (Version 1.0 – Reprinted, December 2000), World Climate Research Programme// Ed. by L. J. B. McArthur, WMO/TD-No. 879, February 1998.
4. Holben B.N., T.F.Eck, I.Slutsker, D.Tanre, J.P.Buis, A.Setzer, E.Vermote, J.A.Reagan, Y.Kaufman, T.Nakajima, F.Lavenue, I.Jankowiak, and A.Smirnov, 1998: AERONET - A federated instrument network and data archive for aerosol characterization, *Rem. Sens. Environ.*, **66**, 1-16.
5. Eck, T.F., B.N.Holben, J.S.Reid, O.Dubovik, A.Smirnov, N.T.O'Neill, I.Slutsker, and S.Kinne, The wavelength dependence of the optical depth of biomass burning, urban and desert dust aerosols, *J.Geophys.Res.*, 104, 31,333-31,350, 1999.
6. Smirnov A., B.N.Holben, T.F.Eck, O.Dubovik, and I.Slutsker, Cloud screening and quality control algorithms for the AERONET data base, *Rem.Sens.Env.*, 73, 337-349, 2000.
7. Dubovik, O. and M. D. King, 2000: A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements," *J. Geophys. Res.*, **105**, 20 673-20 696.
8. Dubovik, O., A.Smirnov, B.N.Holben, M.D.King, Y.J.Kaufman, T.F.Eck, and I.Slutsker, Accuracy assessments of aerosol optical properties retrieved from AERONET sun and sky-radiance measurements, *J.Geophys.Res.*, 105, 9791-9806, 2000.
9. Holben, B.N., D.Tanre, A.Smirnov, T.F.Eck, I.Slutsker, N.Abuhassan, W.W.Newcomb, J.Schafer, B.Chatenet, F.Lavenue, Y.J.Kaufman, J.Vande Castle, A.Setzer, B.Markham, D.Clark, R.Frouin, R.Halthore, A.Karnieli, N.T.O'Neill, C.Pietras, R.T.Pinker, K.Voss, and G.Zibordi, An emerging ground-based aerosol climatology: Aerosol optical depth from AERONET, *J. Geophys. Res.*, 106, 12,067-12,097, 2001.