

В.А. Розенталь, Н.Е. Чубарова, О.М. Изакова, Г.А. Шараев

МОНИТОРИНГ РАДИАЦИОННЫХ ПОТОКОВ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫМ КОМПЛЕКСОМ SUN

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, метеорологическая обсерватория

Поступила в редакцию 15.01.98 г.

Принята к печати 29.10.98 г.

В целях осуществления мониторинга радиационных потоков разработан аппаратно-программный комплекс SUN. Дано подробное описание аппаратной части комплекса и разработанного программного обеспечения, которое соответствует основным требованиям ГГО. Проведившиеся в метеорологической обсерватории (МО) МГУ двухлетние испытания показали простоту и надежность его применения при радиационных измерениях. Данные, полученные и обработанные с помощью системы SUN, использованы при анализе спектральных закономерностей ослабления потока солнечного излучения.

Введение

Мониторинг потоков солнечной радиации позволяет решить большое число научных и практических задач: он служит для оценки гелиоклиматических ресурсов различных географических регионов, валидации радиационных блоков существующих климатических моделей атмосферы и решения разнообразных прикладных проблем. В частности, мониторинг потоков солнечной радиации играет очень важную роль в городских условиях. Город является мощнейшим источником газового загрязнения природной среды, при этом разбросанность источников загрязнения создает довольно неоднородную картину и требует проведения наблюдений в различных пунктах города. Мониторинг солнечной радиации в городах и в ближайших сельских регионах может быть использован как косвенный показатель загрязнения воздушного бассейна городов. Так, например, известно, что в Москве прямая солнечная радиация примерно на 9% в среднем ниже, чем в Подмосковье. При этом в осенне-зимний период различия могут достигать 17% [3]. Основываясь на расчете параметров, полученных из многолетних измерений радиационных потоков, также было показано, что среднегодовые значения аэрозольной оптической толщины в Москве на 27% выше, чем в ближайшем Подмосковье (30-км зона) и на 75% выше, чем в 100 км к западу от центра города [3]. Проведение регулярных спектральных измерений солнечной радиации позволяет также по известным методикам восстанавливать концентрации малых газовых примесей в атмосфере (O_3 , NO_2 и др.) и тем самым уточнять тип загрязнения городской среды.

В настоящее время в России мониторинг радиационных потоков на сети станций проводится в виде срочных наблюдений или в виде регистрации с помощью многоканального потенциометра КСП-4 [5]. По оценкам [2] ручная обработка лент КСП-4 приводит в среднем дополнительно к 5% ошибки радиационных измерений; срочные наблюдения, безусловно, не дают полной картины и в среднем увеличивают погрешность измерений на 3% [2]. В последнее время уделяется большое внимание повышению точности и надежности радиационных измерений [9]. За рубежом уже давно используются автоматические сис-

темы регистрации типа data logger, которые, однако, неудобны при использовании в оперативном режиме: они не позволяют просматривать графические изображения измеряемых величин и при необходимости корректировать их. Стоимость иностранных приборов превышает 3000\$, что само по себе не дает возможность оснастить ими большое число пунктов наблюдений. В России также разрабатываются автоматические системы сбора актинометрической информации, в частности в Институте физики атмосферы РАН [6], в Институте оптики атмосферы СО РАН [4], однако в основном они создаются для использования в научных радиационных экспериментах, а разрабатываемое программное обеспечение не предусматривает создания удобного интерфейса и стандартизации выходной информации согласно требованиям ГГО, что необходимо для унификации измерений на сети актинометрических станций России. В связи с этим было необходимо разработать удобную малогабаритную, надежную и сравнительно недорогую технику сбора и первичного анализа радиационных измерений, позволяющую осуществлять мониторинг потоков солнечной радиации в различных регионах, а также разработать программное обеспечение, позволяющее на основе принятых методик обрабатывать результаты.

Такой аппаратно-программный комплекс был разработан в метеорологической обсерватории МГУ в первую очередь для осуществления мониторинга потоков солнечной радиации, оценки антропогенной нагрузки на климат города и использования в научных радиационных экспериментах.

Описание аппаратно-программного комплекса SUN

Аппаратно-программный комплекс SUN представляет собой систему сбора и первичного анализа радиационных измерений, однако при необходимости к нему можно подключить и другие, в частности метеорологические, датчики температуры, давления и т.д. Блок-схема комплекса представлена на рис. 1.

Аппаратная часть системы подключается непосредственно к компьютеру и имеет небольшие габариты (20×30 см) и массу (около 1 кг). К ней с помощью экранированных витых пар могут быть подсоединены до 15 различных датчиков.

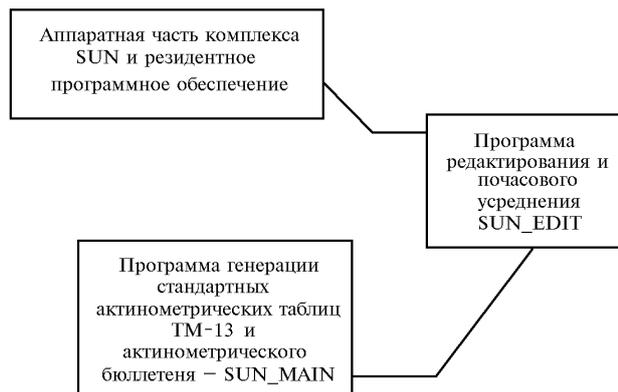


Рис. 1. Блок-схема аппаратно-программного комплекса SUN

Известно, что основные приборы, измеряющие составляющие радиационного баланса, являются термоэлектрическими и обладают низкой чувствительностью [7]. За рубежом также наиболее надежными являются термоэлектрические приборы, например американской фирмы Эппли или голландской Kipp&Zonen, которые обладают такой же низкой чувствительностью ($8\text{--}11 \mu\text{В}/(\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2})$) [по 8]). Поэтому комплекс SUN разрабатывался и отлаживался для

работы с датчиками, диапазон выходных сигналов которых лежит в интервале $8 \mu\text{В}\text{--}30 \text{ мВ}$, что определило, в свою очередь, необходимость в достаточно широком динамическом диапазоне системы порядка 70 дБ. При использовании дополнительного устройства согласования можно проводить измерения приборами, выходной сигнал которых превышает указанную выше 30-мВ границу.

Аппаратная часть комплекса (рис. 2) состоит из 16-канального входного коммутатора 1 (15 измерительных каналов плюс канал для компенсации нуля), дифференциального усилителя с переключаемым коэффициентом усиления 2, преобразователя напряжения в частоту 3, схемы оптической развязки с компьютером 4 и блока питания 5. Под действием управляющих сигналов от компьютера датчики с помощью коммутатора 1 поочередно подключаются к усилителю 2, коэффициент усиления которого под действием тех же управляющих сигналов устанавливается в соответствии с чувствительностью датчиков. В каждом канале предусмотрена возможность использования нескольких значений чувствительности. Усиленный сигнал преобразуется в частоту 3 и через оптическую развязку 4 подается на последовательный порт компьютера. В каждом цикле опроса датчиков производится автокомпенсация дрейфа нуля измерительной схемы. Ошибка измерений составляет менее $\pm 0,5\%$.

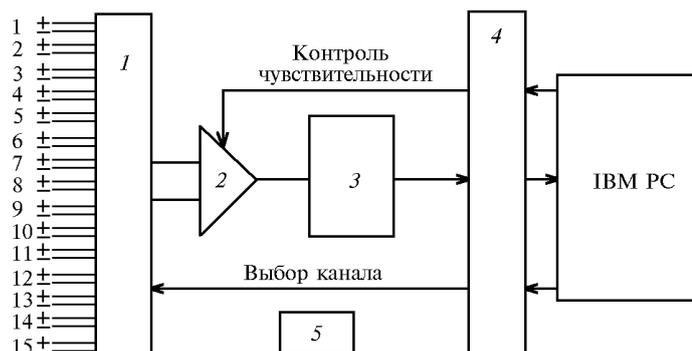


Рис. 2. Блок-схема аппаратной части комплекса SUN

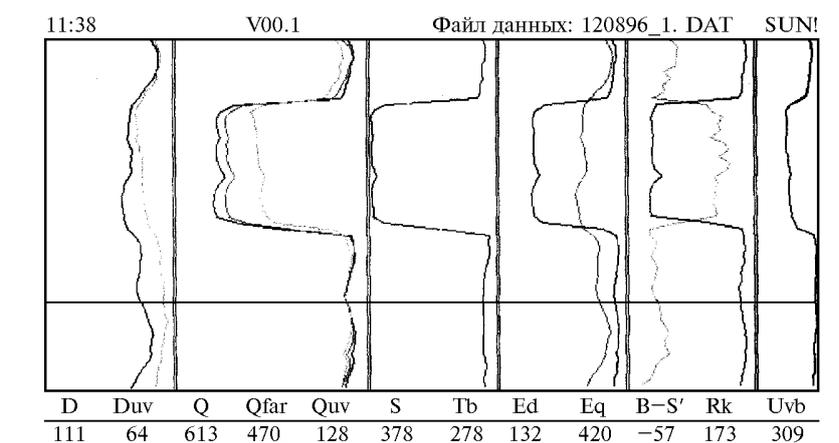


Рис. 3. Пример регистрации потоков солнечного излучения в различных диапазонах спектра 12 августа 1996 г. в МО МГУ

Работа системы происходит во взаимодействии с IBM PC через стандартный последовательный порт при помощи резидентной программы, которая периодически активизируется для опроса датчиков, подключенных к системе, после чего последовательно записывает результаты изме-

рений в два одинаковых файла, что исключает возможность потери данных в случае сбоя питания. Память, занимаемая резидентной частью программного обеспечения, составляет около 14 К. Период опроса датчиков, равный 1 мин, выбран с учетом времени инерции термоэлектриче-

ских приборов Янишевского, широко распространенных на сети актинометрических станций [7]. Каждую полночь (в 00.00) создается очередная пара файлов данных с уникальным именем вида DDMMYY.dat (день месяц год). Основные характеристики измерительного комплекса приведены в табл. 1.

Таблица 1

Период опроса датчиков	1 мин
Время опроса одного датчика	0,11 с
Коэффициенты усиления	$K_1 = 3,5; K_2 = 10,5; K_3 = 32,2$

Для дальнейшего просмотра и редактирования данных, подготовленных резидентной программой, разработана программа SUN_EDIT. Она предоставляет удобный графический интерфейс для одновременного просмотра записей во всех каналах (рис. 3).

Программа позволяет не только графически отображать результаты актинометрических измерений в оперативном режиме, но и редактировать отдельные участки

кривых, выводить графики суточного хода элементов на печать. В результате работы программы проводится почасовое усреднение минутных данных измерений, выбираются максимальные значения радиации за сутки и результаты записываются в текстовые файлы.

Все основные установки программы, содержащие информацию о взаиморасположении графиков, месте нуля, наборах калибровочных коэффициентов, находятся в текстовом конфигурационном файле (*.cfg), который доступен для просмотра и редактирования любым текстовым редактором.

В случае известных калибровочных характеристик приборов реализована возможность перевода данных в абсолютные единицы на этапе часового усреднения. Реализована также возможность оценки переводных множителей по методике ГГО [5], когда переводной коэффициент рабочего средства измерения получается из сопоставления с контрольными средствами измерения в течение месяца. Программа SUN_EDIT создает калибровочные файлы (*.cal), куда автоматически вносятся данные измерений рабочих приборов в соответствии со временем наблюдения по контрольным приборам.

Таблица 2

Потоки солнечной радиации, регистрирующиеся в МО МГУ и обрабатываемые в программах SUN_EDIT и SUN_MAIN

Вид радиации	Регистрирующиеся потоки	Рассчитываемые потоки	Формула для расчета
Прямая на перпендикулярную поверхность	S	–	–
Прямая на горизонтальную поверхность	S'	–	$S' = S \sin h$
Рассеянная интегральная	D	–	–
Отраженная	Rk	–	–
Радиационный баланс без прямой солнечной радиации	$B - S'$	–	–
Радиационный баланс	–	B	$B = (B - S') + S'$
Суммарная интегральная	Q^1	Q	$Q = D + S'$
Суммарная УФР	Q_{uv}	–	–
Рассеянная УФР	D_{uv}	–	–
Прямая УФР	–	S'_{uv}	$S'_{uv} = Q_{uv} - D_{uv}$
Суммарная ФАР	Q_{far}	–	–
Суммарная освещенность	Eq	–	–
Рассеянная освещенность	Ed	–	–
Прямая освещенность	–	Es'	$Es' = Eq - Ed$

¹ Измерения суммарной интегральной радиации проводятся для контроля и используются лишь при необходимости восстановления прямой или рассеянной интегральной радиации.

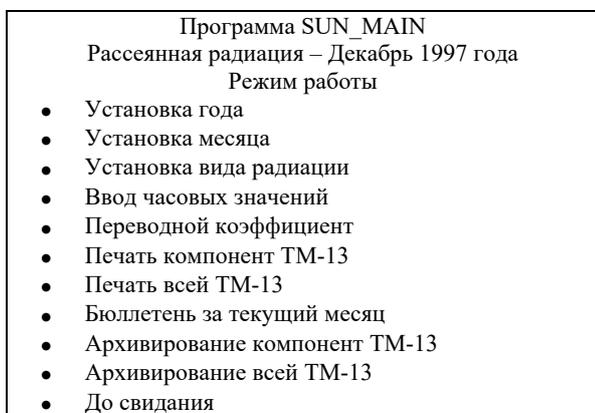


Рис. 4. Пример меню программы SUN_MAIN при установке рассеянной радиации за декабрь 1997 г.

Все текстовые файлы, созданные программой SUN_EDIT, импортируются с помощью специальной программы (convert.exe) в программу SUN_MAIN – программу генерации стандартных актинометрических таблиц ТМ-13 и актинометрического бюллетеня. На рис. 4 показано меню программы SUN_MAIN.

Эта программа предназначена для обработки радиационных потоков, измеряющихся в МО МГУ (табл. 2), однако в ней предусмотрена возможность редактирования числа и видов датчиков радиации, изменения широты места наблюдений, что делает ее универсальной для использования в различных географических районах.

После осуществления операции конвертирования импортированные данные можно посмотреть, войдя в пункт меню «Ввод часовых значений». При необходимости эти данные можно редактировать.

Войдя в пункт меню «Переводный коэффициент», можно графически отобразить результаты градуировок по методике ГГО [5] и также в случае необходимости редактировать данные.

Таблицы ТМ-13 представляют собой ежечасные данные основных видов солнечной радиации. В таблицах рассчитываются суточные, декадные, месячные суммы радиации и находятся средние значения за месяц. Для некоторых видов радиации, например УФР, ФАР, измеряемых в МО МГУ, предусмотрена возможность определения их доли в суточных суммах суммарной и рассеянной интегральной радиации. В таблице отраженной радиации рассчитываются значения альбедо подстилающей поверхности (%) за каждые сутки. Таблицы ТМ-13 для радиационного баланса B , суммарной коротковолновой радиации Q составляются пересчетом по известным актинометрическим формулам.

С целью обеспечения пользователей оперативной метеорологической информацией за стандартные сроки наблюдений данная программа также генерирует бюллетень метеорологической информации, составной частью которого являются данные мониторинга радиационных потоков (см. пункт «Бюллетень за текущий месяц»).

В программе также предусмотрена возможность экспорта данных основных таблиц ТМ-13 в ASCII коды (пункты меню «Архивирование компонент ТМ-13, Архивирование всей ТМ-13»), а также экспорт данных в формат ГГО.

В течение двух лет, начиная с 1994 г., проводилась параллельная регистрация радиационных измерений потенциометром КСП-4 и аппаратно-программным комплексом SUN, результаты которой показали, что переход на автоматизированную систему SUN не нарушит однородности рядов измерений потоков солнечной радиации. С мая 1996 г. регистрация потоков солнечной радиации в МО МГУ полностью проводится аппаратно-программным комплексом SUN. Кроме применения системы SUN в регулярных актинометрических наблюдениях, она использовалась и при проведении научных экспериментов, в частности Звенигородского комплексного эксперимента 1994 г., во время которого изучались спектральные закономерности ослабления облачностью потоков солнечного излучения [1]. Наглядным примером указанных закономерностей может служить и запись радиационных потоков с помощью системы SUN, приведенная на рис. 3. В данном варианте выбран режим наложения потоков суммарного излучения во всей интегральной области спектра (Q), а также в видимой (Q_{vis}) и ультрафиолетовой (Q_{uv}). Отчетливо видно, что размах колебаний потоков ультрафиолетовой радиации при отсутствии облака на диске Солнца и при

затенении Солнца плотным облаком (см. резкое падение прямой радиации S в третьей колонке) является минимальным по сравнению с видимой и интегральной радиацией. Это объясняется прежде всего нелинейной связью суммарной радиации с оптической толщиной атмосферы, которая проявляется в том, что уже при ясном небе доля прямой радиации в суммарной в УФ-диапазоне гораздо меньше, чем в видимом или интегральном, а при дальнейшем увеличении оптической толщины (за счет облачности) ослабление потоков суммарной УФ-радиации замедляется. Соответственно, при затенении Солнца плотным облаком, когда прямая радиация полностью экранируется, суммарная УФ-радиация (Q_{uv}) ослабляется меньше, чем видимая и интегральная.

Выводы

Разработана удобная система сбора и обработки данных о радиационных потоках, соответствующая основным требованиям ГГО, которая прошла двухлетние испытания и с мая 1996 г. является основой радиационных измерений в МО МГУ.

Использование аппаратно-программного комплекса SUN поможет при организации актинометрических обсерваторий в различных пунктах России, а также при проведении различных научных экспериментов.

1. Абакумова Г.М., Горбаренко Е.В., Изакова О.М., Незваль Е.И., Розенталь В.А., Чубарова Н.Е., Шиловцева О.А. // Известия РАН. Сер. ФАО. 1998. Т. 34. С. 134–140.
2. Гильченко Н.Г. Оценка погрешности результатов измерений составляющих радиационного баланса // Труды ГГО. СПб: Гидрометеиздат, 1985. Вып. 488. С. 112–118.
3. Климат, погода, экология Москвы / Под ред. Ф.Я. Клинова. СПб: Гидрометеиздат, 1995. 437 с.
4. Мониторинг потоков ультрафиолетового, видимого и инфракрасного излучения // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. N 7. С. 1119.
5. Наставление гидрометеостанциям и постам. Вып. 5. Ч. 1. М.: Росгидромет, 1997.
6. Смирнов А.С., Плахина И.Н., Репина И.А. Автоматизированный комплекс для мониторинга радиационного баланса у поверхности океана. М., 1992. 35 с. (Препринт / ИФА РАН, N 5).
7. Янишевский Ю.Д. Актинометрические приборы и методы наблюдений. Л.: Гидрометеиздат, 1957. 415 с.
8. Revised instruction Manual on Radiation Instruments and Measurements WCRP Publication Series. No. 7. WMO / TD-No 149. 1986. P. 140.
9. Second workshop on implementation of the baseline surface radiation network. Radiation and Climate. WCRP-64, WMO / TD-No 453. P. 26.

V.A. Rozental, N.E. Chubarova, O.M. Izakova, G.A. Sharaev. Monitoring of Radiation Fluxes by Soft-hardware System SUN.

In order to organize monitoring of radiative fluxes the soft-hardware system SUN has been created. Detailed description of hardware is done as well as the description of software which corresponds to the main requirements of the Main Geophysical Observatory. Two-years' verification and validation done in Meteorological Observatory of Moscow State University demonstrates the simplicity and reliability of its usage for radiative measurements. Data obtained and processed by system SUN were used in the analysis of spectral features of solar fluxes attenuation.