

АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

УДК 551.510.534

С.Д. Ашкинадзе, А.А. Балин, С.В. Долгий, И.В. Кольцов, А.Н. Красовский,
А.М. Людчик, Л.Ч. Неверович, Л.Н. Турышев, С.В. Шарапов

**УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫЙ СПЕКТРОМЕТР-ОЗОНОМЕТР «ПИОН»:
РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ И НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ
И ОПЫТ ПЕРВОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

В сравнении с данными, полученными на озонometре Брюэра № 43, обсуждаются результаты первых испытаний нового ультрафиолетового солнечного спектрометра-озонometра «Пион». Предлагается новая методика измерений, базирующаяся на автоматической оптимизации спектрального диапазона с целью минимизации ошибок регистрации.

В [1] изложена общая концепция, лежащая в основе конструкции спектрометра-озонometра «Пион», разработанного в НИИ прикладных физических проблем им. К.Н. Севченко при Белорусском госуниверситете им. В.И. Ленина. В 1989—1990 гг. была проведена серия лабораторных и натуральных испытаний двух изготовленных образцов озонometров в городах Минске, Кисловодске и Долгопрудном. В последних двух городах имелась возможность сравнивать показания озонometров «Пион» с показаниями эталонных приборов: озонometром Брюэра № 43 на высокогорной научной станции Института физики атмосферы АН СССР (г. Кисловодск) и озонometрами Добсона № 107 и Брюэра № 45 Центральной аэрологической обсерватории Госкомгидромета (г. Долгопрудный). По результатам испытаний дорабатывались система регистрации и методика измерений. В данной публикации обсуждаются полученные в ходе испытаний результаты, обнаруженные недостатки в работе озонometров и пути их устранения.

В ходе лабораторных испытаний озонometров были получены следующие характеристики.

Характеристика	Прибор № 1	Прибор № 2
Спектральный диапазон, нм	294—316,4	295,5—316,7
Полуширина аппаратной функции, нм	≈ 0,44	≈ 0,55
Шаг сканирования, нм	≈ 0,022	≈ 0,021
Число шагов сканирования	1000	1000
Погрешность привязки по длинам волн, нм	< 0,01	< 0,01
Дисперсия (зависимость длины волны от номера канала)		близкая к линейной

Спектральная чувствительность озонometров приблизительно линейно падает по мере увеличения длины волны, что объясняется применением «солнечно-слепого» ФЭУ-142.

Как видно из представленных данных, реальные характеристики существенно отличаются от значений, планировавшихся при конструировании прибора [1]. Краткое описание конструкции и внешний вид спектрометра-озонometра «Пион» приведены в [1]. Следует обратить внимание на две существенные особенности конструкции озонometра, отличающие его от известных приборов Добсона и Брюэра. Во-первых, это значительно уменьшенный угол поля зрения объектива спектрометра (40'×40'), что накладывает жесткие требования на работу системы наведения, однако позволяет осуществлять наблюдения при больших зенитных углах Солнца.

Другое важное отличие состоит в отсутствии ослабителей излучения, механически вводимых в световой пучок для регулирования уровня сигнала. Вместо этого применена оригинальная методика измерений, согласно которой рабочий участок длин волн озонometра перемещается по спектральному диапазону в зависимости от условий измерений с целью обеспечения оптимальных уровней сигналов. Система регистрации предусматривает автоматическое изменение времени интегрирования сигнала в зависимости от его уровня в пределах 0,5 мс—0,5 с. В результате реальный динамический диапазон озонometра превышает 4 порядка по уровню сигнала. Имеется также возможность дополнительного регулирования чувствительности прибора путем изменения напряжения на ФЭУ. Однако с учетом длительности процессов установления рабочего режима фотоэлектронного блока такое регулирование допустимо только в промежутках между сериями измерений.

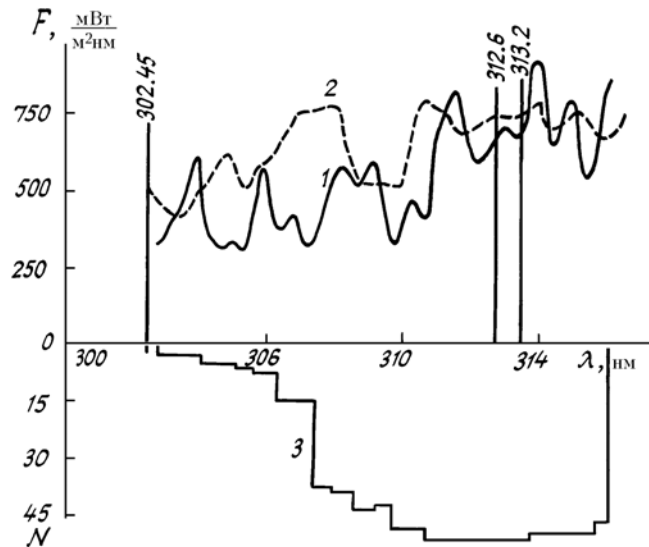


Рис. 1. Внеатмосферный солнечный спектр: 1 — получен после обработки результатов измерений ультрафиолетовым спектрометром-озонметром «Пион» № 1. Вертикальными линиями показано положение линий спектра ртути, использованных для привязки шкалы длин волн; 2 — данные работы [2]; 3 — число зарегистрированных спектров, использованных для построения кривой 1 на различных участках диапазона

В ходе первичных натурных испытаний в декабре 1989 г. (г. Кисловодск) осуществлялась настройка систем наведения, проверка работоспособности отдельных узлов, измерение солнечных УФ-спектров и отработка методики измерений. Как отмечалось, на станции ИФА АН СССР установлен и осуществляет постоянные наблюдения озонметр Брюэра № 43, показания которого были использованы для калибровки параметров расчетных методик.

В общей сложности было зарегистрировано около 200 солнечных спектров, из них — более 70 детальных, с минимальным шагом по спектру. Последние были использованы для расчета внеатмосферного солнечного спектра в области 303–316,4 нм (вследствие малой высоты Солнца над горизонтом в период испытаний более коротковолновая часть спектра не регистрировалась). Результаты вычислений в сравнении с известными из литературы [2] приведены на рис. 1. Там же указано положение линий спектра ртути, по которым осуществлялась привязка шкалы длин волн озонметров. В нижней части рисунка графически представлено количество зарегистрированных спектров, использованных для вычислений на каждой из длин волн.

В первую очередь обращает на себя внимание заметное смещение спектров по шкале длин волн в коротковолновой части диапазона. Если имеющееся расхождение в амплитудах можно отнести на счет специфики использованной вычислительной процедуры, то по поводу корректности привязки по длинам волн у авторов отсутствуют какие бы то ни было сомнения. Вообще говоря, подобные расхождения обнаруживаются и при сравнении между собой данных о внеатмосферном солнечном спектре, опубликованных различными авторами [2–4]. Поэтому следует признать, что вопрос о солнечном ультрафиолетовом внеатмосферном спектре до сих пор остается открытым.

Высокая стабильность работы оптико-механического блока позволила отказаться от осуществления привязки шкалы длин волн перед каждым измерением. В связи с этим упрощена конструкция прибора — удалена встроенная ртутная лампа. Периодический контроль точности привязки может проводиться с помощью внешнего источника, устанавливаемого на объектив спектрометра.

В ходе первых натурных испытаний для определения общего содержания озона (ОСО) в качестве основного использовался один из вариантов многоволновой методики [5–7], базирующийся на измерениях на 200 парах длин волн. Параллельно исследовалась методика (впоследствии ей было отдано предпочтение), многоволновый характер которой был направлен на расширение диапазона условий, в которых возможна работа прибора. Весь спектральный диапазон спектрометра разбит на перекрывающиеся рабочие участки, в пределах каждого из которых выбираются 10 пар длин волн для расчета ОСО. При высоком Солнце и относительно малом ОСО достаточный для измерений уровень сигнала получается в коротковолновой части диапазона, в то время как в области больших длин волн возникает опасность засветки фотомножителя и регистрация не проводится. По мере ухудшения условий измерений оптимальные по уровню сигналы перемещаются в длинноволновую область спектрального диапазона прибора. Как правило, расчет значений ОСО удается осуществить в нескольких соседних рабочих участках (полное их число — 23). Для данного единичного измерения в качестве измеренного значения ОСО принимается среднее, определенное по всем участвовавшим в регистрации рабочим участкам с исключением двух наиболее удаленных от среднего значений, если среднеквадратичное отклонение превышает 1%.

Некоторых пояснений требует методика калибровки параметров формул для расчета ОСО. В рамках использованной гипотезы о неселективности аэрозольного ослабления выражение для ОСО по измерениям в отдельном рабочем участке имеет вид

$$X = \frac{1}{\mu\alpha} [R - L - m\beta p/p_0],$$

где μ , m — относительная озонная и воздушная массы; α — параметр, связанный с поглощением излучения озоном; R — внеатмосферный параметр; β — параметр, ответственный за молекулярное рассеяние (рассчитывается заранее для каждого рабочего участка по известным эмпирическим формулам); p/p_0 — отношение давления в месте измерений к нормальному; L — сумма по парам длин волн логарифмов отношений зарегистрированных сигналов. Параметры α и R определялись путем сравнительной калибровки с эталонным прибором. При этом ставилась также задача минимизировать расхождения в значениях ОСО, получаемых на различных рабочих участках. Несмотря на то, что найденные таким образом значения α и R оказываются довольно близкими к результатам теоретических расчетов на основании экспериментальных данных о коэффициенте поглощения озона и внеатмосферном солнечном спектре, в дальнейших измерениях использовались параметры, определенные сравнительной калибровкой.

В качестве примера на рис. 2 представлены результаты измерений ОСО 14.12.89 в сравнении с показаниями озонометра Брюэра № 43. Важное преимущество озонометра «Пион» состоит в возможности проведения наблюдений при больших значениях воздушных масс, что обеспечивается малым углом поля зрения и высокой чувствительностью прибора.

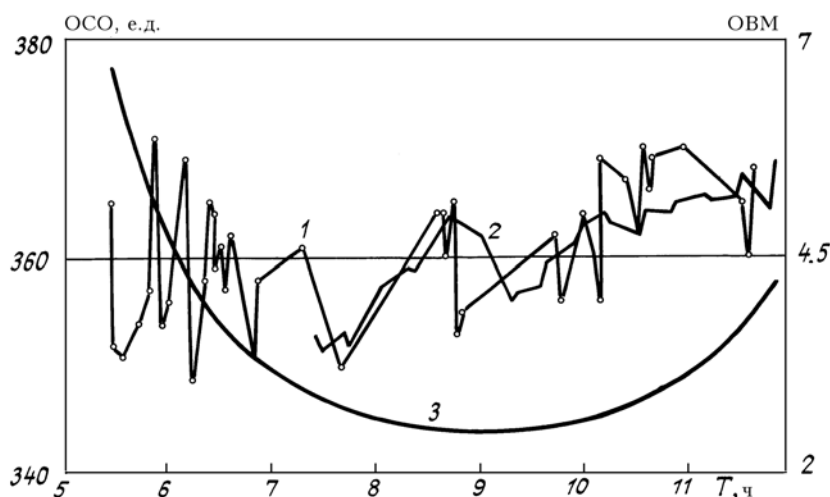


Рис. 2. Результаты измерения ОСО 14.12.89 в районе г. Кисловодска. 1 — «Пион» № 1; 2 — «Брюэр» № 43; 3 — относительная воздушная масса (ОВМ) в зависимости от времени измерений. По шкале абсцисс отложено время по Гринвичу

К недостаткам следует отнести худшую по сравнению с озонометром Брюэра воспроизводимость результатов при повторных измерениях. Частично этот недостаток удается компенсировать за счет перехода от однократных измерений к сериям измерений с последующим усреднением результатов (см. ниже).

В ходе натурных испытаний в 1990 г. проводилась калибровка второго озонометра и совершенствовались методика измерений и реализующая ее программа. К. последним испытаниям в г. Кисловодске в декабре 1990 г. эта работа была в основном закончена. В результате подготовлена программа, осуществляющая полуавтоматическую работу озонометра «Пион» в течение целого дня наблюдений. Полностью исключить необходимость контроля оператором работы прибора не удалось из-за отсутствия программного управления двигателями системы наведения. Поэтому при сбоях системы наведения, обусловленных появлением в ее поле зрения облаков, прибор переходит в состояние ожидания до вмешательства оператора для продолжения работы. По мере накопления результатов измерений автоматически осуществляется запись всей информации на магнитную дискету; по окончании работы прибора возможна распечатка протокола наблюдений.

На рис. 3 показаны результаты измерений непосредственно в г. Кисловодске 15.12.90. Приведенные данные представляют собой усредненные значения по серии 7 однократных измерений. Видно, что разброс в показаниях заметно уменьшается в результате применения такой процедуры. Расхождения в среднедневных значениях ОСО, полученных различными приборами, объясняются недостаточной длиной рядов наблюдений, использованных для калибровки параметров расчетных методик озонометров «Пион». Они будут устранены в ходе последующих калибровок. Разброс показаний

озонметров при повторных измерениях составляет около 1,5% и в основном связан с ошибками работы системы наведения.

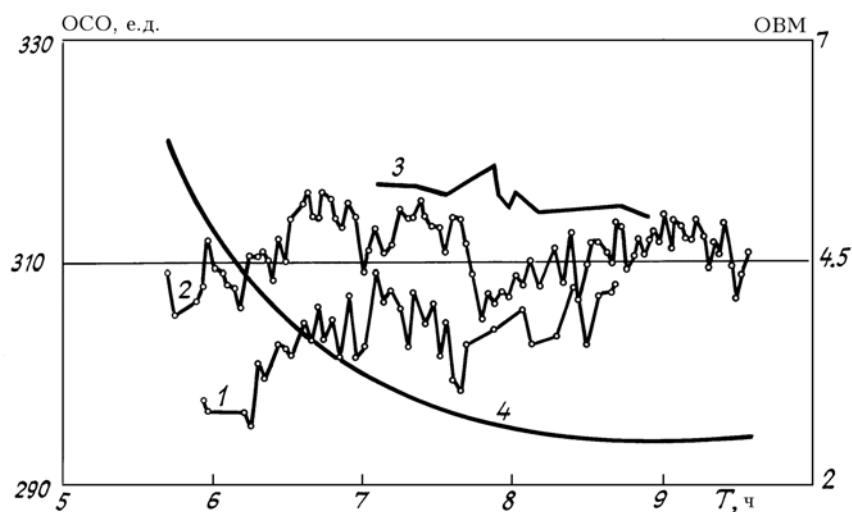


Рис. 3. Результаты измерения ОСО 15.12.90 в г. Кисловодске. 1 — «Пион» № 1; 2 — «Пион» № 2; 3 — «Брюэр» № 43 на станции ИФА АН СССР; 4 — относительная воздушная масса в зависимости от времени измерений

К сожалению, в рамках прежнего технического решения невозможно существенно повысить качество работы системы наведения. Очевидный путь ее совершенствования — реализация возможности программной обработки сигналов следящей головки и программного управления механизмами наведения. Такой подход заложен в изготавливаемый модифицированный вариант озонметра «Пион». Одновременно принимаются меры по повышению качества работы приемно-измерительного тракта. Ожидается, что в результате проведенных доработок удастся оценить уровень систематических погрешностей определения ОСО озонметрами типа «Пион» и, таким образом, окончательно судить о плодотворности предложенной в [1] общей концепции.

Авторы благодарны сотрудникам Высокогорной научной станции ИФА АН СССР за гостеприимство и помощь в проведении испытаний.

1. Красовский А.Н., Людчик А.М., Неверович Л.Ч. и др. //Оптика атмосферы. 1989. Т. 2. № 4. С. 422—427.
2. Thekaekara M. P. //Appl. Optics. 1974. V. 13. № 3. P. 518—522.
3. Arvesen J.C., Griffin R.N., Jr., Pearson B.D., Jr. //Appl. Optics. 1969. V. 8. № 11. P. 2215—2232.
4. Broadfoot A.L. //Astrophys. J. 1972. V. 173. № 3. P. 681—690.
5. Кузнецов Г.И. //Изв. АН СССР. Сер. ФАО., 1975. Т. 11. № 6. С. 647—651.
6. Garrison L.M., Doda D.D., Green A.E.S. //Appl. Optics. 1979. V. 18. № 6. P. 850—855.
7. Людчик А.М., Жучкевич В.В., Красовский А.Н., Турышев Л.Н. //Изв. АН СССР. Сер. ФАО. 1989. Т. 25. № 1. С. 45—52.

НИИ прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко, Минск
Центральная аэрологическая обсерватория, Долгопрудный

Поступила в редакцию
24 июня 1991 г.

S.D. Ashkinadze, A.A. Balin, S.V. Dolgii, I.V. Kol'tsov, A.N. Krasovskii, A.M. Lyudchik, L.Ch. Neverovich, L.N. Turyshev, S.V. Sharapov. **The UV-Spectrometer Ozonometer «PION» — Results of Laboratory and Field Tests.**

Some results obtained during the first exploitation of a newly designed ultraviolet sun spectrometer-ozonometer «Pion» are discussed in comparison with the data-sets from Brewer № 43 ozonometer. A new method based on automatic optimization of the spectral region to minimize registration error is proposed.