

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И КОНТРОЛЮ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Т Р У Д Ы
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГЛАВНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ
им. А.И.ВОЕЙКОВА

ВЫПУСК
487

АКТИНОМЕТРИЯ, АТМОСФЕРНАЯ ОПТИКА
И ОЗОНОМЕТРИЯ

Под редакцией
д-ра техн. наук Г.П.Гущина

Ленинград
Гидрометеиздат 1985

06
T78

УДК 551.510.534 + 551.521 + 551.593

В сборнике публикуются работы по методике и результатам измерения составляющих радиационного баланса, спектральной прозрачности атмосферы и аэрозоля, дальности видимости и общего содержания атмосферного озона.

Сборник предназначен для научных работников и специалистов в области физики атмосферы.

The publication contains papers on the procedures and results of measuring radiation balance components, atmospheric spectral transparency and aerosol, visibility range and total ozone content in the atmosphere.

The publication is meant for researchers and specialists in atmospheric physics.

334168

A I903040000 = I33 44 = 84(I)
069 (02) = 85

© Главная геофизическая
обсерватория им. А. И. Воей-
кова (ИГО), 1985.

Ленинградский
Гидрометеорологический ин-т
БИБЛИОТЕКА
Л-д 195195 Малобихинский пр., 98

Е.П.Барашкова

ВОЗМОЖНОСТИ КОНТРОЛЯ ЧАСОВЫХ СУММ СУММАРНОЙ РАДИАЦИИ, СООТВЕТСТВУЮЩИХ БЕЗОБЛАЧНОМУ НЕБУ

Для получения сумм различных видов радиации на сети актиометрических станций используются результаты регистрации, которая осуществляется с определенной дискретностью. Первичным результатом обработки регистрации являются часовые суммы, которые используются затем для получения сумм за более продолжительные интервалы времени.

Суммарная радиация является наиболее важной частью радиационного баланса и обычно служит тем опорным элементом, сравнением с которым определяют достоверность значений как самого радиационного баланса так и других его составляющих. Суммарная радиация зависит от высоты Солнца, состояния солнечного диска и облачности, отражательных свойств подстилающей поверхности. При отсутствии облаков заметное влияние на суммарную радиацию оказывает мутность атмосферы / 3 /.

Наиболее просто контроль часовых сумм суммарной радиации может быть осуществлен для случаев безоблачного неба, так как при безоблачном небе, постоянной высоте Солнца h_0 и близких значениях альбедо A подстилающей поверхности в различных пунктах наблюдаются близкие значения суммарной радиации / 3 /. Наблюдаемые при этом значения часовых сумм суммарной радиации $\sum_c Q_0$, изменчивость которых обусловлена как различным состоянием мутности атмосферы, так и погрешностями в определении часовых сумм, не должны выходить за некие пределы.

Приведенные в табл. I предельные значения $\sum_c Q_0$ для разных h_0 соответствуют крайним значениям мутности атмосферы по наблюдениям на территории Советского Союза и получены на основании данных С.И.Сивкова / 7 / о зависимости Q_0 от h_0 . Погрешности определения часовых сумм суммарной радиации вследствие погрешностей в определении графиков чувствительности регистратора и дискретности регистрации, по данным К.А.Фетеевой и В.Д.Янишевского / 8 /, составляют 4-7 %.

Таблица

Предельные значения часовых сумм суммарной радиации $\sum_c Q_0$ (МДж/м²) при безоблачном небе

h_0	При отсутствии снежного покрова	При наличии снежного покрова
7	0,18 - 0,35	0,20 - 0,40
10	0,30 - 0,55	0,35 - 0,63
15	0,55 - 0,88	0,63 - 1,01
20	0,83 - 1,23	0,96 - 1,41
25	1,13 - 1,58	1,28 - 1,81
30	1,36 - 1,94	1,56 - 2,21
40	1,91 - 2,51	
50	2,49 - 3,09	
60	2,89 - 3,54	
75	3,24 - 3,97	

Примечание. Значения h_0 соответствуют середине часового интервала.

При современном способе представления результатов регистрации / 2 / выборка часовых сумм радиации, соответствующих безоблачному небу, затруднена, так как в таблицах нет никаких отметок, констатирующих это обстоятельство. Выборки сумм, соответствующих продолжительности солнечного сияния $\tau = 1$ ч, могут привести к ошибочным результатам, вследствие того что прожог ленты гелиографа обеспечивается не только при открытом солнечном диске ($\odot$), но и когда солнечный диск закрыт облаками верхнего яруса ($\circ$). В последнем случае наблюдаются более низкие значения суммарной радиации.

Ниже по выборкам из результатов срочных наблюдений за 1965 г. / 2 / приведены средние значения суммарной радиации (кВт/м²) при безоблачном небе (Q_1) и при облачности 10/0 Сг (Q_2).

h_0	10°	20°	30°	40°	50°
Q_1	0,10	0,30	0,47	0,61	0,75
Q_2	0,09	0,26	0,43	0,58	0,70

Различие в значениях Q приводит к различию в значениях часовых сумм при $h_0 = \text{const}$, равному 0,13-0,18 МДж/м². Чтобы избежать возможных ошибок, в дальнейшем соответствующими безоблачному небу принимались часовые суммы $\sum_c Q$ при $\tau = 1$ ч в такие дни, для которых во все стандартные актинометрические сроки отмечалось безоблачное небо.

На рис. I представлена зависимость $\sum_c Q_0$ от h_0 , соответствующая безоблачному небу, по данным за отдельные дни июня 1965 г.

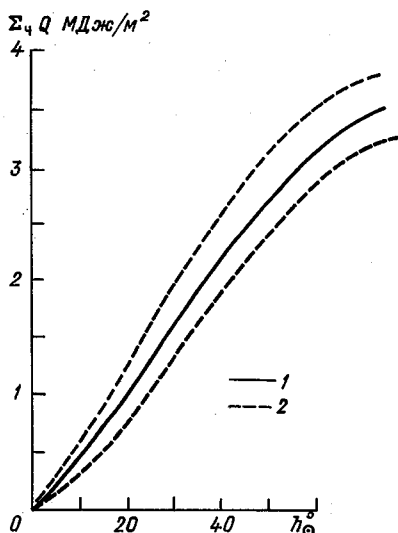


Рис. I. Зависимость от высоты Солнца часовых сумм суммарной радиации по данным наблюдений в отдельные дни в июне 1965 г.

1 - $\Sigma_{\text{ч}} Q_0$; 2 - $\Sigma_{\text{ч}} Q_0 \pm 2\sigma$.

уточнение переводных множителей как контрольных, так и рабочих приборов, используемых на станции для построения градуировочного графика самописца.

Другой возможностью контроля $\Sigma_{\text{ч}} Q_0$ является сопоставление результатов измерений и расчетов по соответствующим формулам. В частности, при отсутствии снежного покрова для расчетов может быть использована формула (4), полученная на основании одного из вариантов / 4 / формулы М.Е. Берлянда / 5 /. Формула Берлянда выражает зависимость суммарной радиации при безоблачном небе Q_0 от зенитного расстояния Солнца

$$Q_0 = \frac{S_0 \cos z_0}{1 + f \sec z_0}, \quad (I)$$

где S_0 - солнечная постоянная, f - параметр, значения которого зависят от свойств атмосферы и подстилающей поверхности. Как было показано ранее / 4 /, на основании данных, представленных в монографии С.И. Сивкова / 7 /, для подстилающей поверхности без снега f меняется от 0,161 до 0,410; для поверхности, покрытой снегом, от

для актинометрических станций Ашхабад, Кайрак-кумское водохранилище, Приморская, Айдарлы, Аскания-Нова, Полтава, Кушнареново. Характерно, что наблюдаемые при этом пределы изменения

$\Sigma_{\text{ч}} Q_0$ совпадают со значениями, приведенными в табл. I, и соответствуют $\Sigma_{\text{ч}} Q_0 \pm 2\sigma$, где $\Sigma_{\text{ч}} Q_0$ - среднее значение, σ - среднее квадратическое отклонение для отдельных градаций $\Delta h_0 = 10^\circ$. В рассмотренном случае 98 % всех значений

$\Sigma_{\text{ч}} Q_0$ лежит в указанных пределах. Если значения часовых сумм окажутся вне пределов, определяемых 2σ , потребуется

0,08 до 0,25. В результате анализа значений f , рассчитанных на основании результатов измерений 1965 г. / 2 /, установлено, что с ростом $h_0 = 90^\circ - \alpha_0$ происходит увеличение f . Осредненная по всем месяцам зависимость f_{cp} от h_0 может быть представлена в виде

$$f_{cp} = 0,11 + 0,0024 h_0, \quad (2)$$

где h_0 - высота Солнца в градусах. Подставив (2) в (1) и произведя элементарные преобразования, получим

$$Q_0 = \frac{S_0 \sin^2 h_0}{0,11 + 0,0024 h_0 + \sin h_0}. \quad (3)$$

Отклонения отдельных измеренных значений Q_0 от рассчитанных по формуле (3) находятся в пределах $\pm(0,007 + 0,007 \sqrt{h_0})$. Переходя от Q_0 к часовым суммам $\sum_{\tau} Q_0$, получим следующую формулу для расчета часовых сумм (в МДж/м²):

$$\sum_{\tau} Q_0 = \frac{3,6 S_0 \sin^2 h_0}{m(0,11 + 0,0024 h_0 + \sin h_0)} \pm (0,0252 + 0,0252 \sqrt{h_0}), \quad (4)$$

где h_0 - высота Солнца для середины часового интервала, $S_0 = 1,36$ кВт/м², m - коэффициент приведения к среднему расстоянию Солнце-Земля / 6 /. Влияние альбедо A на $\sum_{\tau} Q_0$ может быть учтено введением соответствующих коэффициентов, рассчитанных по формуле М.С.Аверкиева / 7 /

$$K_a = \frac{1}{1 - 0,2A}, \quad (5)$$

$$\sum_{\tau} Q_{0,A_1} = \sum_{\tau} Q_{0,A_2} \frac{1 - 0,2A_2}{1 - 0,2A_1}.$$

Значения $\sum_{\tau} Q_0$, рассчитанные по формуле (4), соответствуют $A=0,2$.

Представление о различии рассчитанных по формуле (4) $\sum_{\tau} Q_0^p$ и измеренных в безоблачные дни $\sum_{\tau} Q_0^u$ часовых сумм радиации дано рис.2 и табл.2, где дана повторяемость разности $\Delta \sum_{\tau} Q_0 = \sum_{\tau} Q_0^u - \sum_{\tau} Q_0^p$ для летних ($0,2 \leq A \leq 0,3$) и зимних ($0,73 \leq A \leq 0,83$) значений альбедо подстилающей поверхности. На рис.2 на графике для марта рассчитанные по формуле $\sum_{\tau} Q_0$ не приведены к зимним значениям альбедо, поэтому отмечается систематическое занижение рассчитанных значений по сравнению с измеренными. В среднем отношение рассчитанных к измеренным составляет 1,09, что несколько ниже поправочного коэффициента, полученного по формуле Аверкиева $K_a = 1,11$.

При расчете повторяемости $\Delta \sum_{\tau} Q_0$ (табл.2) рассчитанные по формуле (4) значения $\sum_{\tau} Q_0$ для приведения к зимним альбедо умножены на поправочный коэффициент $K = 1,09$. Диапазон изменения

$\Delta \sum_{\tau} Q_0$ одинаков для всех высот Солнца, в 90 % случаев

$|\Delta \sum_{\tau} Q_0| \leq 0,2$ МДж/м², что при $h_0 \geq 40^\circ$ составляет от 10 до 5 % зна-

чения $\sum_{\text{ч}} Q_0$.

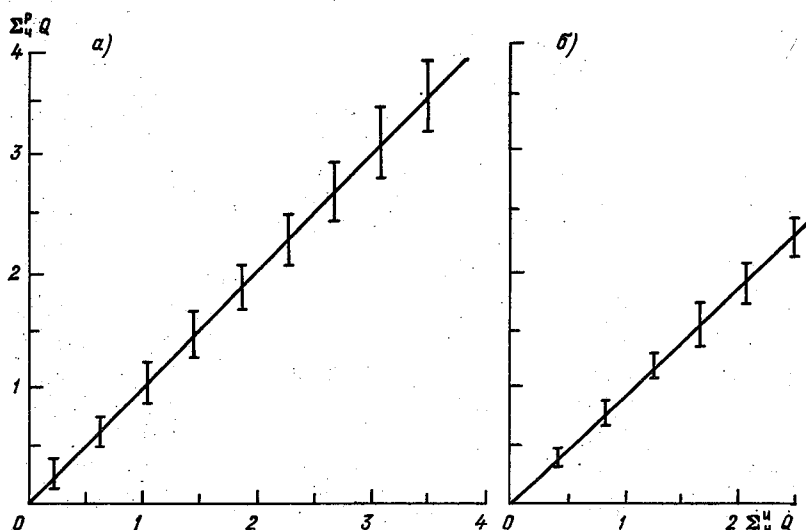


Рис.2. Рассчитанные и измеренные часовые суммы суммарной радиации в отдельные дни июня (а) и марта (б).

Таблица 2

Повторяемость (%) разности измеренных в отдельные дни и рассчитанных значений $\sum_{\text{ч}} Q_0$.

$\Delta \sum_{\text{ч}} Q_0$ МДж/м ²	$0,2 \leq A \leq 0,3$	$0,73 \leq A \leq 0,83$
-0,36 ... -0,28	2	2
-0,28 ... -0,20	4	5
-0,20 ... -0,12	8	14
-0,12 ... -0,04	17	21
-0,04 ... 0,04	40	41
0,04 ... 0,12	19	14
0,12 ... 0,20	8	3
0,20 ... 0,28	2	-
Число случаев	377	189

Для осредненных в заданном интервале значений Δh_0 результатов наблюдений при безоблачном небе расхождение измеренных и рассчитанных значений не превосходит средней квадратической ошибки σ .

В табл.3 приведены средние значения $\overline{\Sigma_4 Q_0}$ для различных градаций h_0 с интервалом $\Delta h_0 = 10^\circ$ по результатам наблюдений в безоблачные дни июня 1965 г., средние квадратические отклонения σ , результаты расчетов по формуле (4) и осредненные значения $\Sigma_4 Q_{\tau=1}$ при $\tau = 1,0$.

Таблица 3

Средние измеренные и рассчитанные часовые суммы при безоблачном небе $\tau = 1,0$

h_0	$\Sigma_4 Q_0^p$	$\Sigma_4 Q_0^u$	$\pm \sigma$	$\Sigma_4 Q_{\tau=1}$	$\pm \sigma$
0-10	0,17	0,18	0,11	-	-
10-20	0,75	0,82	0,10	0,71	0,11
20-30	1,42	1,34	0,20	1,17	0,12
30-40	2,01	1,88	0,16	1,84	0,25
40-50	2,56	2,46	0,16	2,39	0,18
50-60	2,89	2,95	0,17	2,64	0,18
60-70	3,31	3,30	0,15	-	-

Средние значения $\Sigma_4 Q_{\tau=1}$, соответствующие $\tau = 1$, систематически ниже как $\Sigma_4 Q_0^p$, так и $\Sigma_4 Q_0^u$. Из сравнения средних месячных значений при $\tau = 1,0$, полученных по материалам наблюдений / 2 / в 16 пунктах (Ашхабад, Богдарин, Смоленск, Б.Шантар, Огурцово, Кушнаренково, Горький-Мнза, Рига, Кострома, Тобольск, Алдан, Енисейск, Тийрикоя, Ивдель, Сытомино, Усть-Мона), с рассчитанными по формуле (4) следует, что для летних месяцев, когда рассчитанные и измеренные суммы соответствуют близким альбедо, отмечается систематическое превышение рассчитанных значений над измеренными. Средние отношения рассчитанных и измеренных при $\tau = 1,0$ часовых сумм суммарной радиации ($F = \Sigma_4 Q_0^p / \Sigma_4 Q_{\tau=1}^u$) для разных месяцев следующие (поправка на альбедо в расчетные данные не вводилась):

Месяц I II III IV V VI VII VIII IX X XI
F 0,99 1,03 0,98 0,96 1,07 1,08 1,09 1,10 1,07 1,03 0,97

Отмечаемое для летних месяцев превышение расчетных данных над измеренными является следствием того, что (как указывалось выше) продолжительность солнечного сияния за 1 ч ($\tau = 1,0$) не является показателем безоблачного неба, а наличие облаков верхнего яруса приводит к уменьшению суммарной радиации. В зимние месяцы влияние альбедо заснеженной поверхности не только компенсирует, но и превосходит влияние облачности верхнего яруса на $\Sigma_4 Q_0$.

В ы в о д ы

1. Для контроля часовых сумм суммарной радиации, соответствующих безоблачному небу, могут быть использованы два способа: а) сопоставления зависимости $\sum_i Q_i$ от h_0 для разных пунктов (при этом данные должны быть объединены в различные группы по градициям альбедо подстилающей поверхности); б) сравнения с результатами расчета по формуле (4) (зависимость Q_0 от альбедо подстилающей поверхности должна быть учтена введением в результаты расчетов соответствующих множителей).

2. Так как выборки $\sum_i Q_i$ при $\tau = 1$ могут не соответствовать условиям безоблачного неба, в дальнейшем для обеспечения возможностей контроля наряду с часовыми суммами радиации должна даваться и информация о периодах регистрации, соответствующих безоблачному небу. По крайней мере должны отмечаться полностью ясные и полностью пасмурные дни.

Список литературы

1. Аверкиев М.С. Уточненный метод расчета суммарной радиации. - Вестник МГУ, Сер.геогр., 1961, № 1, с.40-47.
2. Актинометрический ежемесячник, 1965 г. Ч.1, Ч.2 - Л., ИГО, 1970.
3. Барашкова Е.П. Некоторые закономерности в режиме суммарной радиации. - Труды ИГО, 1959, вып.80, с.51-70.
4. Барашкова Е.П. О возможности контроля среднемесячных величин суммарной радиации. - Труды ИГО, 1980, вып.445, с.3-10.
5. Берлянд М.Е. Предсказание и регулирование теплового режима приземного слоя атмосферы. - Л.: Гидрометеиздат, 1956, 436 с.
6. Радиационные характеристики атмосферы и земной поверхности / Под ред.К.Я.Кондратьева. Л.: Гидрометеиздат, 1969.
7. Сивков С.И. Методы расчета характеристик солнечной радиации. - Л.: Гидрометеиздат, 1968.
8. Фатеева К.А., Янишевский Ю.Д. Точность интегрирования радиации по регистрации с разными интервалами. - Труды ИГО, 1973, вып.312, с.157-160.

СВЯЗЬ СРЕДНИХ МЕСЯЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ЧАСОВЫХ СУММ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ

В настоящее время испытывается настоятельная необходимость в возможности контроля ежемесячной актинометрической информации. Одним из возможных методов контроля актинометрической информации является использование зависимости прихода солнечной радиации от продолжительности солнечного сияния. Такая зависимость, полученная на основе средних многолетних данных широко использовалась и используется для климатических расчетов. С целью выяснения возможности использования аналогичной зависимости для ежемесячной информации были рассмотрены статистические связи средних месячных значений часовых сумм солнечной радиации и продолжительности солнечного сияния.

Исходным материалом служили результаты регистрации прямой, рассеянной, суммарной радиации и продолжительности солнечного сияния в 1965 г. на станциях: Ашхабад, Ташкент, Одесса, Киев, Смоленск, Большой Шантар, Куннаренково, Огурцово, Горький, Рига, Кострома, Тобольск, Енисейск, Тийриоя, Сытомино, Якутск, Ивдель, Усть-Мома, Умба, Среднеколымск, Дальне-Зеленецкая / I /. В расчетах использовалась информация за весь год без приведения к среднему расстоянию Солнце-Земля, так как при этом разброс значений часовых сумм при постоянной высоте Солнца и продолжительности солнечного сияния такой же, как и в отдельные месяцы, поэтому данное обстоятельство не должно отразиться на корреляционных связях.

Расчеты статистических характеристик - корреляционного отношения η , являющегося критерием близости корреляционной связи к функциональной, и коэффициента корреляции r , являющегося критерием близости функциональной зависимости к линейной, - производились для различных градаций высот Солнца $\Delta h_0 = 10^\circ$ и для двух градаций альбедо подстилающей поверхности ($A < 0,4$ и $A > 0,5$). Сравнительно широкие градации Δh_0 не должны отразиться на оценке η и r , так как при постоянной продолжительности солнечного сияния τ изменчивость часовых сумм радиации $\sum_{\tau}$ при $\Delta h_0 = 10^\circ$ такая же, как при $\Delta h_0 = 2^\circ$.

Между двумя случайными величинами существует корреляционная зависимость, если каждому значению одной из них соответствует неопределенное количество значений другой, но средние из этих значений зависят от значений первой величины / 3 /. Такой характер зависимости наблюдается между средними месячными значениями часовых сумм радиации $\sum_{\tau}$ и продолжительности солнечного сияния τ .

В табл. I приводятся осредненные зависимости средних месячных

значений часовых сумм различных видов солнечной радиации от продолжительности солнечного сияния. Для таких видов радиации, как прямая на нормальную лучу поверхность ($\Sigma_{\tau} S$), прямая на горизонтальную поверхность ($\Sigma_{\tau} S'$) и суммарная ($\Sigma_{\tau} Q$), при всех градациях

Δh_0 средние зависимости указывают на монотонный рост Σ_{τ} с увеличением τ (как при $A < 0,4$, так и при $A > 0,5$), и максимальные значения сумм достигаются при $\tau = I$. Следует отметить, что для $\Sigma_{\tau} S'$ наряду с суммами, полученными на основании регистрации прямой радиации, использовались суммы, полученные как разность

$$\Sigma_{\tau} Q - \Sigma_{\tau} D.$$

Другой характер зависимости Σ_{τ} от τ наблюдается для рассеянной радиации. В этом случае максимальные значения сумм достигаются при $\tau < I$, и положение максимума смещается при изменении высоты Солнца. Отчетливо прослеживается также влияние альбеда подстилающей поверхности на $\Sigma_{\tau} D$ и $\Sigma_{\tau} Q$ - переход от летних альбедо к зимним может привести к увеличению средних значений сумм на 20-50 %.

Корреляционно связаны с τ не только указанные выше величины, но и отношения часовых сумм различных видов радиации. В частности, в табл.2 приведены средние зависимости от τ отношений средних месячных значений сумм рассеянной и суммарной радиации $\Sigma_{\tau} D / \Sigma_{\tau} Q$ и отношений средних месячных значений часовых сумм суммарной радиации к возможным суммам при безоблачном небе $\Sigma_{\tau} Q / \Sigma_{\tau} Q_0$. Часовые суммы суммарной радиации, соответствующие безоблачному небу, рассчитывались с помощью описанного в / 2 / метода.

Из табл.2 следует, что отношение $\Sigma_{\tau} D / \Sigma_{\tau} Q$ при $\tau \geq 0,2$ линейно убывает с увеличением τ ; при постоянных значениях τ и A происходит убывание $\Sigma_{\tau} D / \Sigma_{\tau} Q$ с ростом высоты Солнца h_0 . В 1543 случаях из 1981 (78 %) отношение $\Sigma_{\tau} D / \Sigma_{\tau} Q \geq 0,5$, то есть в большинстве случаев основная роль в формировании $\Sigma_{\tau} Q$ принадлежит рассеянной радиации. Отношение $\Sigma_{\tau} Q / \Sigma_{\tau} Q_0$ монотонно растет с увеличением τ , при этом отмечается незначительное различие зависимости $\Sigma_{\tau} Q / \Sigma_{\tau} Q_0$ от τ для разных градаций Δh_0 . В таблицу не включена градация $0 \leq h_0 \leq 10$, так как при малых значениях $\Sigma_{\tau} Q$ незначительные ошибки в определении $\Sigma_{\tau} Q$ и $\Sigma_{\tau} Q_0$ приводят к существенным ошибкам при расчете отношения.

В табл.3 приведены коэффициенты корреляции r и корреляционные отношения η для величин, представленных в табл.1 и 2. Кроме того, в табл.3 включены: число случаев m , использованных для расчетов r и η ; средняя ошибка коэффициента корреляции σ_r ; ошибки коррелирующих величин σ_{τ} и σ_{η} ; $\varepsilon = \eta^2 - r^2$;

$$\sigma(\varepsilon) = 2/\sqrt{n} \cdot \sqrt{\varepsilon[(1-\eta^2)^2 - (1-r^2)^2 - 1]}.$$

При расчете ε и $\sigma(\varepsilon)$ принимали $\eta = \frac{1}{2} [\eta(y/x) + \eta(x/y)]$.

Таблица I
Средняя зависимость средних месячных значений часовых
сумм солнечной радиации (10^4 Дж/м²) от продолжительности
солнечного сияния

A	h°	τ										
		0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\Sigma_s S$												
	0-10	13	21	30	39	49	61	76	94			
	11-20		23	38	49	69	78	98	119	144	149	
	21-30				57	80	93	118	143	174	183	
	31-40				60	83	101	123	153	177	217	259
	41-50					86	101	128	160	186	233	284
	51-60									190	236	284
$\Sigma_s S'$												
	0-10	2	3	4	5	6	9					
	11-20	4	5	10	13	18	22	26	32	45	47	
	21-30			14	24	34	40	48	61	78	79	
	31-40				32	48	58	70	91	105	123	172
	41-50					58	71	90	111	128	159	191
	51-60						75	98	114	152	188	230
$\Sigma_s D$												
<0,4	0-10	6	9	10	12	13	14	20	21	21		
>0,5	0-10	8	11	16	18	20	16	13	13	13		
<0,4	11-20			25	27	28	29	30	32	34	31	
>0,5	11-20	21	27	35	36	37	44	44	44	48	46	
<0,4	21-30			39	45	47	48	48	49	50	42	
>0,5	21-30			55	72	68	65	73	75	61	59	
<0,4	31-40				55	69	68	64	66	66	51	43
>0,5	31-40					81	80	89	87	78	80	
<0,4	41-50					75	86	86	80	71	57	52
>0,4	51-60					74	94	91	92	81	64	57
$\Sigma_s Q$												
<0,4	0-10	6	11	15	17	20	25	29	38			
>0,5	0-10	9	14	20	22	28	33					
<0,4	11-20		23	33	40	43	50	56	60	75	78	
>0,5	11-20		36	47	48	59	68	72	76	93		
<0,4	21-30			54	70	80	91	96	109	131		
>0,5	21-30			63	88	101	109	128	138			
<0,4	31-40				88	120	127	137	160	175	182	
>0,4	41-50					136	159	178	193	202	220	
<0,4	51-60					159	181	188	204	333	252	284

Таблица 2

Средняя зависимость $\Sigma_4 D / \Sigma_4 Q$ и $\Sigma_4 Q / \Sigma_4 Q_0$ от продолжительности солнечного сияния

A	h°	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\Sigma_4 D / \Sigma_4 Q$												
0,4	0-10	0,88	0,79	0,77	0,73	0,67	0,68	0,63				
0,5	0-10	0,90	0,84	0,80	0,78	0,72	0,66	0,61	0,62			
0,4	11-20		0,84	0,75	0,68	0,63	0,59	0,55	0,48	0,46	0,39	
0,5	11-20	0,91	0,82	0,72	0,70	0,68	0,63	0,62	0,59	0,52	0,48	
0,4	21-30			0,74	0,66	0,59	0,55	0,50	0,45	0,39	0,34	
0,5	21-30			0,82	0,64	0,64	0,58	0,52	0,53	0,45	0,48	
0,4	31-40				0,64	0,59	0,54	0,48	0,42	0,39	0,32	0,22
0,4	41-50					0,54	0,55	0,49	0,42	0,36	0,26	0,19
0,4	51-60					0,48	0,58	0,49	0,45	0,34	0,26	0,19
$\Sigma_4 Q / \Sigma_4 Q_0$												
0,4	11-20	0,22	0,36	0,44	0,51	0,60	0,64	0,71	0,72	0,79	0,79	
0,4	21-30		0,28	0,42	0,48	0,58	0,62	0,66	0,76	0,81	0,82	
0,4	31-40			0,35	0,48	0,55	0,61	0,65	0,74	0,79	0,86	0,85
0,4	41-50				0,48	0,52	0,61	0,66	0,72	0,78	0,85	0,91
0,4	51-60					0,52	0,61	0,65	0,70	0,78	0,85	0,93

Таблица 3

Коэффициенты корреляции и корреляционные отношения средних месячных значений часовых сумм солнечной радиации, отношений $\Sigma_4 D / \Sigma_4 Q$, $\Sigma_4 Q / \Sigma_4 Q_0$ и продолжительности солнечного сияния

A	h°	r	δ_4	δ_5	δ_6	m	$\eta(y/x)$	$\eta(x/y)$	ε	$\delta(\varepsilon)$
$\Sigma_4 S$ и r										
	0-10	0,726	0,024	0,16	5,35	401	0,731	0,743	0,016	0,012
	11-20	0,859	0,013	0,18	7,92	426	0,863	0,870	0,012	0,011
	21-30	0,899	0,010	0,17	9,51	403	0,907	0,897	0,006	0,008
	31-40	0,875	0,013	0,13	9,32	341	0,882	0,884	0,012	0,012
	41-50	0,884	0,014	0,12	9,88	230	0,897	0,945	0,068	0,034
	51-60	0,892	0,019	0,12	11,88	121	0,919	0,916	0,042	0,037
$\Sigma_4 S'$ и r										
	0-10	0,612	0,028	0,16	1,56	481	0,633	0,614	0,002	0,004
	11-20	0,759	0,020	0,18	2,69	470	0,776	0,774	0,024	0,014
	21-30	0,803	0,018	0,16	4,43	380	0,819	0,818	0,025	0,016
	31-40	0,831	0,017	0,13	5,79	323	0,842	0,836	0,014	0,013
	41-50	0,862	0,015	0,12	6,60	228	0,890	0,887	0,011	0,014
	51-60	0,878	0,021	0,12	8,83	122	0,911	0,889	0,039	0,036
$\Sigma_4 D$ и r										
0,4	0-10	0,530	0,044	0,16	1,35	271	0,540	0,502	0,008	0,011

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ АКТИНОМЕТР АП-І

Актинометр АП-І предназначен для преобразования энергетической освещенности прямой солнечной радиации в электрический сигнал постоянного тока и является первичным актинометрическим преобразователем для аналоговых или цифровых систем измерения и регистрации. Прибор найдет применение в тех же областях, что и пиранометр ПП-І / 2 /.

Необходимость в актинометрах АП-І, являющихся результатом совместной разработки ГСКБ теплофизического приборостроения и ИГО, вызвана тем, что выпускаемые нашей промышленностью аналогичные приборы / 4 / не защищены от воздействий осадков, пыли. Это создает существенные трудности при организации и проведении наблюдений за прямой солнечной радиацией. Следует отметить, что за рубежом налажен выпуск актинометров несколько иного типа: прибор герметизирован и заполнен сухим воздухом, имеется параметрическая температурная компенсация / 9 /. Общим недостатком известных актинометров сетевого назначения является их относительно малый коэффициент преобразования, равный $(5,5 - 11,0) \text{ мВ} \cdot \text{м}^2 / \text{кВт}$ / 5,9 /.

Показатели назначения актинометра приведены в таблице. Принцип действия актинометра, как и пиранометра ПП-І / 2 /, основан на тепловом эффекте, имеющем место при поглощении излучения приемной площадкой термочувствительного элемента.

Прибор состоит из актинометрической трубки (тепловой блок) и параллактического штатива (столлик). Штатив содержит узлы и детали, позволяющие устанавливать актинометр по широте, осуществлять для нацеливания на Солнце поворот по азимуту и по углу склонения. В целом конструкция столика аналогична конструкции штатива сетевого актинометра / 4 /.

Конструкция актинометрической трубки (тепловой блок) представлена на рисунке. Приемником излучения 9 служит медная пластина, окрашенная глубокоматовой черной эмалью АК-5І2 / 6 / со стороны, обращенной к Солнцу. Пластина приклеена к «горячим» спаям полупроводниковой термоэлектрической батареи І0, состоящей из четырех образующих квадратов модулей типа МТС-ІІ / 8 /, установленных (приклеенных) «холодными» спаями к оксидированному металлическому основанию - теплоотводу ІІ из алюминиевого сплава, на обратной стороне которого производится коммутация модулей.

Основание, закрепленное к крышке І2, с помощью резьбы установлено на хвостике апертурной трубки (корпусе) 4 актинометра. Основа-

Таблица

Показатели назначения актинометра АП-1

Технические данные и характеристики	Допускаемое значение
Диапазон преобразования энергетической освещенности, кВт/м^2	0,04-I, I
Интегральный коэффициент преобразования при нормальных условиях, температуре $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ в диапазоне длин волн 0,3-3 мкм, $\text{мВ}\cdot\text{м}^2/\text{кВт}$	Не менее 30
Время установления выходного сигнала, с	Не более 50
Выходное сопротивление при нормальных условиях, температуре $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, Ом	Не более 100
Угол зрения, градусы	$10 \pm 0,5$
Приведенная допускаемая основная погрешность преобразования энергетической освещенности, %	Не более 3
Дополнительная погрешность (%), обусловленная изменением коэффициента преобразования в зависимости от температуры t	Не более 3 для $t = -40 \dots 0^\circ\text{C}$; не более 2 для $t = 0 \dots +50^\circ\text{C}$
Электрическое сопротивление изоляции, МОм	Не менее 0,5
Наработка на отказ, ч	Не менее 5000
Средний срок службы, лет	Не менее 10
Масса актинометра, включая поворотный столик, кг	Не более 3
Диапазон рабочих температур, $^\circ\text{C}$	$-40 \dots +50$

ние II и крышка I2 с целью обеспечения надежного термического контакта монтируются с использованием теплопроводной пасты КПТ-8. Провода от термобатареи IO выводятся через центральные крышки I2 и припаиваются к контактам стойки 23, к которым в свою очередь припаян шунтирующий резистор 22 (62 Ом).

В апертурной трубке установлены диафрагмы 3, расположенные в порядке увеличения диаметра их отверстий по мере удаления от приемника. Последняя диафрагма 2 с приемным отверстием диаметром 20 мм имеет окно 29 из оптического стекла ЕС-3, уплотненное эластичным герметиком. Эта диафрагма соединена с апертурной трубкой винтовым соединением, герметизированным незасыхающей замазкой, положение диафрагм фиксируется распорными трубками 27, пружинящей шайбой 5 и

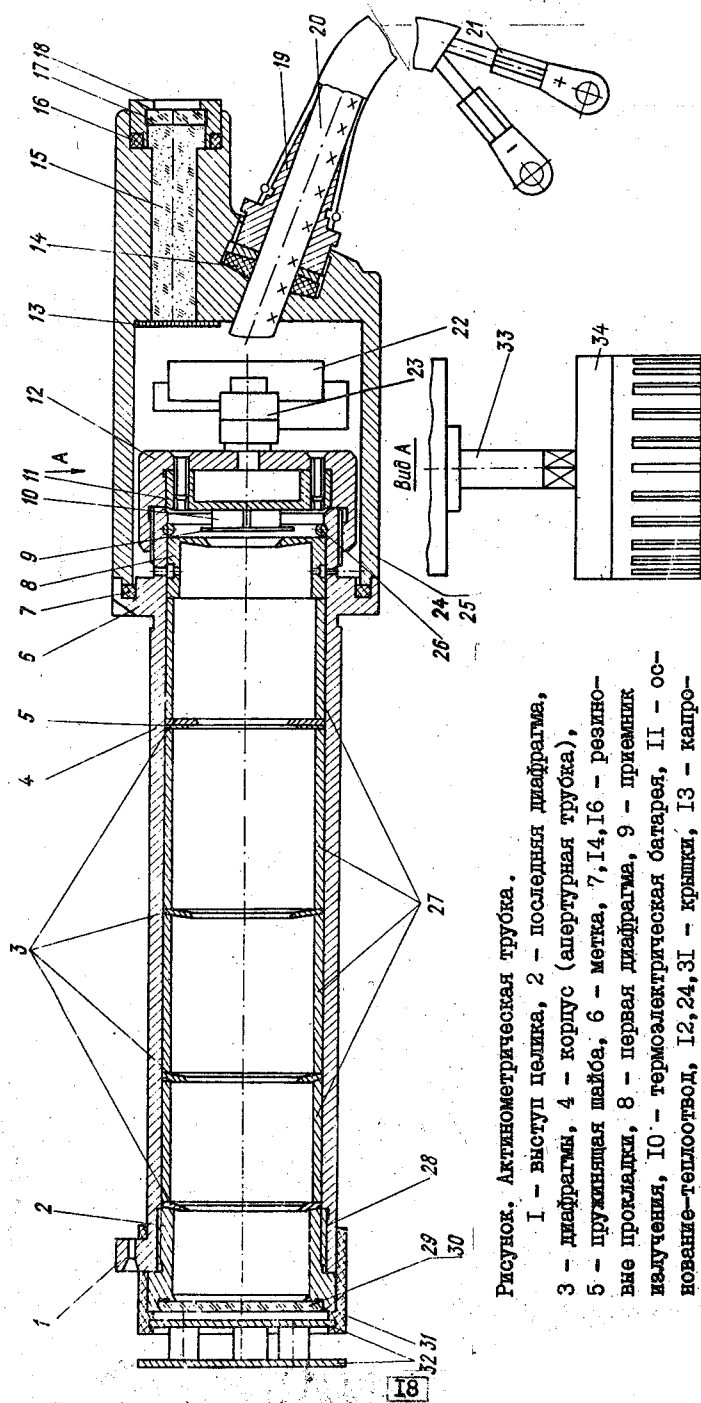


Рисунок. Актинометрическая трубка.

1 - выступ пелла, 2 - последняя диафрагма, 3 - диафрагма, 4 - корпус (апертурная трубка), 5 - пружинная шайба, 6 - метка, 7, 14, 16 - резиновые прокладки, 8 - первая диафрагма, 9 - приемник излучения, 10 - термоэлектрическая батарея, 11 - осевое теплопровод, 12, 24, 31 - крышки, 13 - капроновая ткань, 15 - гранулированный силикагель, 17 - смотровое окно, 18, 30 - герметик УТ-32, 19 - гайка, 20 - кабель, 21 - наконечник, 22 - резистор, 23 - сетка капроновая, 25 - винты, 26 - стопорное кольцо, 27 - распорные трубки, 28 - клей ТТ-18, 29 - окно, 32 - экраны металлические, 33 - ось, 34 - ручка с гайкой.

наименьшей диафрагмой 8 с диаметром отверстия 10 мм, упирающейся в стопорное кольцо 26. Распорные трубки сделаны разрезными, что за счет подпружинивания позволяет обеспечить их хороший термический контакт с корпусом. Расстояние от первой диафрагмы до плоскости приемника составляет около 1 мм, от приемника до входной диафрагмы — 120 мм.

Точная наводка актинометра осуществляется с помощью солнечного луча, формируемого отверстием на выступе I передней части корпуса 4 и падающего при правильной наводке на метку 6 фланцевой части корпуса. Тыловая часть корпуса актинометра закрывается герметично крышкой 24, которая закрепляется на фланце винтами 25. В крышке 24 предусмотрена камера для осушителя (силикагеля 15); камера закрыта герметичной крышкой с окном 17 для контроля состояния осушителя. На крышке имеется сальник для герметизированного ввода кабеля 20. Для крепления теплового блока к параллактическому штативу на крышке установлена ось 33 с ручкой 34. Размеры оси позволяют устанавливать актинометр (тепловой блок) на гелиостате УАР / 3 / при осуществлении регистрации прямой солнечной радиации.

В нерабочем состоянии, а также при отсчетах нулевых показаний, актинометрическая трубка закрывается крышкой 31, имеющей байонетные вырезы. Для снижения перегрева актинометр окрашен белой эмалью. Актинометр имеет параметрическую температурную компенсацию коэффициента преобразования / I /. В качестве вторичных измерительных приборов используются регистраторы типа КСП-4, интеграторы X-603, X-606 и X-607 / 3 / и микроамперметры типа М-1692.

Расчеты схем подключения вторичных приборов даны в / 2 /. В частности, микроамперметр М-1692 кл. 0,5 с током полного отклонения $I = 500$ мкА и напряжением 33 мВ может быть подключен к АП-I без шунтирующего и добавочного резисторов, так как его внутреннее сопротивление (65 Ом) близко сопротивлению нагрузки актинометра. Как и для пиранометра III-I, при измерениях прямой радиации следует учитывать температурный коэффициент микроамперметра. Изменение показаний микроамперметра, вызванное отклонением температуры окружающего воздуха от $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, не превышает $\pm 3\% / 7 /$. Если используется более чувствительный и с меньшим внутренним сопротивлением стрелочный микроамперметр, например М906 / 7 /, то расчет производится по схеме, как для пиранометра III-I.

Разработанный температурно-компенсированный актинометр, обладающий высоким коэффициентом преобразования и малым выходным сопротивлением, позволяет применять вторичные электроизмерительные приборы меньшей чувствительности и в качестве стрелочных приборов использовать микроамперметры вместо гальванометров. Прибор пригоден для работы в режиме длительной регистрации, так как за счет герме-

тизации конструкции и применения осушения существенно снижено влияние ветра, гидрометеоров и пыли.

Рассмотренный актинометр прошел Государственные приемочные испытания и рекомендован Госстандартом СССР к серийному производству

Список литературы

1. Зачек С.И., Горбенко Ю.Д., Тайц Д.А., Луцко Л.В. Методика расчета электрических схем температурной компенсации приемников излучения, выполненных на полупроводниковых термоэлектрических элементах. - Труды ГГО, 1980, вып. 419, с. 79-88.

2. Зачек С.И., Тайц Д.А., Горбенко Ю.Д. Полупроводниковый термоэлектрический пиранометр III-I. - См. настоящий сборник.

3. Методические указания гидрометеорологическим станциям по использованию электронных потенциометров КСП-4 для регистрации составляющих радиационного баланса / Под ред. С.И. Зачека, Е.П. Барашковой. Л.: Гидрометеоиздат, 1978, с. 16.

4. Руководство гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям. - Л.: Гидрометеоиздат, 1971, с. II-15.

5. Руководство по поверке метеорологических приборов / Под ред. И.А. Покровской. - Л.: Гидрометеоиздат, 1967, с. 281.

6. Справочник конструктора опτικο-механических приборов / Под ред. В.А. Панова. Л.: Машиностроение, 1980, с. 578.

7. Справочник по электроизмерительным приборам / Под ред. К.К. Илюшина. Л.: Энергия, 1977, с. 287, 291.

8. Теплофизические приборы и комплекты лабораторий. Каталог на рус. и нем. яз. Внешторгиздат, 1981, с. 20.

9. Eppley normal incidence pyrheliometer, Model NTR. Каталог фирмы The Eppley Laboratory, Inc., США.

В.И. Горышин

ФОТОМЕТР ЯРКОСТЕЙ АВТОМАТИЧЕСКИЙ РЕГИСТРИРУЮЩИЙ (ФОНАР-I)

При метеорологическом обеспечении взлета и посадки самолетов необходимо иметь информацию о состоянии дальности видимости на взлетно-посадочной полосе (ВПП). В соответствии с современными требованиями на борт самолета должны сообщаться значения дальности видимости огней высокой интенсивности (ОВИ) или огней малой интенсивности (ОМИ), которые наблюдает пилот при посадке или взлете самолета

та, и значения метеорологической дальности видимости (МДВ).

Инструментальный метод определения дальности видимости огней основан на использовании формулы Аллара:

$$E_n = \frac{\gamma}{S_0^2} \cdot e^{-\alpha S_0}, \quad (I)$$

где E_n – пороговая освещенность на зрачке глаза, γ – сила света огня, S_0 – дальность видимости огня, α – осредненный показатель ослабления на дистанции зондирования. Показатель ослабления вычисляется по результатам измерения прозрачности слоя атмосферы известной длины с помощью регистраторов прозрачности атмосферы (трансмисометров). Значение включенной ступени силы света нормировано для различных систем огней и ообщается диспетчером или измеряется автоматически. Подробнее методика определения дальности видимости огней ВПП рассмотрена в работе / I /.

Наиболее сложным является вопрос о выборе значения пороговой освещенности, которое соответствовало бы данным условиям наблюдения огней. До настоящего времени мы использовали три фиксированных значения пороговой освещенности на зрачке глаза: для дневных условий наблюдения – 10^{-3} лк, для сумерек – 10^{-4} лк и для ночных условий – $8 \cdot 10^{-7}$ лк. При определении дальности видимости светового ориентира ночью (лампа 60 Вт) использовалось значение $E_n = 2 \cdot 10^{-7}$ лк. Для этих значений пороговой освещенности и трех ступеней силы света применяемых на аэродромах систем огней были рассчитаны специальные таблицы перевода МДВ в дальность видимости ОВИ. Этими таблицами на сети авиаметеостанций пользуются до настоящего времени. Измерение МДВ осуществляется с помощью регистраторов дальности видимости РДВ. Опыт использования указанных таблиц показал, что в ряде случаев, например в пасмурные дни, а также в переходные периоды от дня к сумеркам и от сумерек к ночи, наблюдается существенное занижение ообщаемых значений дальности видимости ОВИ, что приводит к нарушению регулярности воздушного движения. Ясно, что это связано с несовершенством методики выбора значения пороговой освещенности. Международная организация гражданской авиации рекомендовала для практического использования графическую связь пороговой освещенности с яркостью фона, на котором расположен огонь / 2 /.

Для осуществления автоматических расчетов значений пороговой освещенности нами была использована следующая аппроксимационная формула:

$$\lg E_n = 0,85 \lg B_f - 6,95, \quad (2)$$

где B_f – яркость окружающего огонь фона. Из формулы (2) следует, что точную оценку пороговой освещенности можно сделать только при

измерении яркости фона, на котором расположен огонь. Отсюда и возникла задача создания специализированного автоматического фотометра яркости, пригодного для непрерывной эксплуатации на поле аэродрома.

Ряд зарубежных фирм использует для решения этой задачи люксметры, в которых угол зрения ограничен до $5-20^\circ$, при этом измеряют не яркость фона, а некоторую величину, пропорциональную яркости неба вблизи горизонта. Это понижает точность определения пороговой освещенности. Чтобы найти истинную яркость фона, на котором расположены огни, не искаженную влиянием многочисленных аэродромных огней, в тех случаях, когда они будут попадать в поле зрения фотометра, необходим прибор с малым углом зрения. Подобный фотометр и был разработан нами.

Оптическая схема прибора представлена на рис. I. Свет от поверхности, яркость которой мы хотим измерить, падает на входное

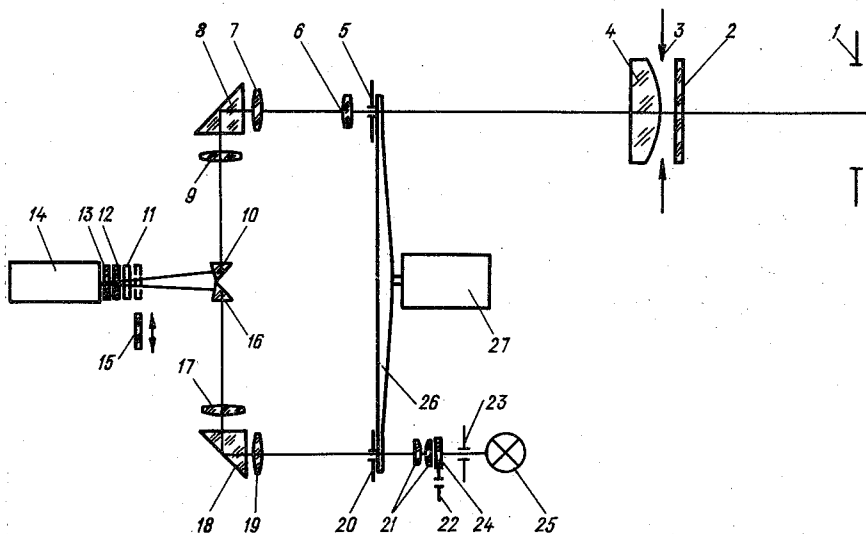


Рис. I. Оптическая схема фотометра.

отверстие I, определяемое размером бленды, далее световой пучок проходит защитное стекло 2 и отверстие измерительной диафрагмы 3, за которой расположен объектив 4.

Измерительная диафрагма 3, перемещаясь, может изменять сечение светового пучка. Объектив 4 строит изображение контролируемой поверхности в плоскости полевой диафрагмы 5, параметры которой совместно с объективом 4 определяют угол зрения яркомера, равный $1^\circ 10'$. Та часть светового потока, которая проходит через диафрагму 5, далее направляется к катоду фотоумножителя 13 с помощью оптической системы, состоящей из коллективной линзы 6, линз конденсо-

ра 7 и 9 и призм 8 и 10. Изображение отверстия диафрагмы 5 строится на поверхности молочного стекла 13. На пути к катоду ФЭУ свет проходит через корректирующие фильтры 11 и 12, приводящие спектральную чувствительность ФЭУ к спектральной чувствительности глаза. В качестве фильтров использованы стекла типа ЗС-8 и ЖС-18. Максимум чувствительности фотоприемника лежит в области 0,55 мкм. Смещения максимума чувствительности могут возникать за счет колебаний характеристик спектральной чувствительности отдельных экземпляров ФЭУ, но эти отклонения, по данным наших расчетов, не превышают 0,01 мкм. Таков оптический путь измерительного пучка.

Второй канал оптической системы фотометра служит для создания светового потока, пропорционального образцовой яркости. С учетом специфических условий измерения яркости фона на аэродромах были выбраны два значения образцовой яркости 10 и 500 кд/м², каждое из которых соответствует начальной точке шкалы поддиапазона. При необходимости значения образцовых яркостей могут быть выбраны любыми в диапазоне от 0,1 до 500 кд/м². Изменяя уровни образцовых яркостей, мы легко можем изменять и диапазон измеряемых прибором яркостей.

Источник света 25 создает опорный световой поток, пропорциональный образцовой яркости 500 кд/м². Формируется этот поток с помощью линз 21, 19, 17 и диафрагмы 19, 23. Призмы 18 и 16 служат для изменения направления пучка. На пути к ФЭУ этот пучок проходит те же корректирующие фильтры 11 и 12, попадает на молочное стекло 13 и далее на катод ФЭУ. В том случае, когда измерения производятся на поддиапазоне, начинающемся с 500 кд/м², перед линзой 21 устанавливается калиброванная диафрагма 22, а перед фильтром 11 — нейтральный фильтр 15, прозрачность которого равна 0,02. При измерении на поддиапазоне, начинающемся с 10 кд/м², вместо диафрагмы 22 перед линзой 21 устанавливается нейтральный фильтр 24 с прозрачностью 0,02, а фильтр 15 удаляется с пути светового потока к катоду ФЭУ. Перед диафрагмами 5 и 20 установлен модулятор 26, который приводится во вращение с помощью мотора 27. Из описания оптической схемы видно, что фотометр является двухлучевым.

С целью повышения чувствительности, точности и стабильности измерений был разработан и использован в данном фотометре высокоэффективный способ измерения отношения двух световых потоков. С помощью измерительной диафрагмы 3, световой поток измерительного пучка всегда уравнивается в процессе измерений со световым пучком, поступающим на катод ФЭУ от источника 25, создающего образцовую яркость. Расчет параметров оптической системы яркомера выполнен так, что на катод ФЭУ в состоянии светового равновесия всегда поступает постоянный световой поток порядка 10⁻⁶ лм, т.е. ФЭУ работает в легком режиме.

Мерой измеряемой яркости служит положение измерительной диафрагмы 3, которая механически связана со шкалой фотометра и потенциометром – датчиком выходного напряжения. Электрическая часть фотометра является устройством, автоматически устанавливающим в приборе состояние равновесия световых пучков, следовательно, изменение параметров этой части прибора в процессе эксплуатации не приводит к ошибкам измерения яркости. Таким образом, используется строго компенсационный метод фотометрирования, при котором балансируются световые потоки, а не электрические сигналы.

Рассмотрим вопрос градуировки шкал фотометра. В реальных условиях (при измерении яркости фона на аэродромах в различных пунктах Советского Союза) диапазон изменения яркости может составлять четыре порядка, что затрудняет разработку автоматического регистрирующего фотометра яркости. Для обеспечения автоматических измерений яркости в диапазоне $10\text{--}50\,000\text{ кд/м}^2$ с необходимой точностью указанный диапазон разбит на два поддиапазона $10\text{--}1000\text{ кд/м}^2$ и $50\text{--}50\,000\text{ кд/м}^2$, а регулирование измерительного светового потока осуществляется по параболическому закону.

Разработанная оптическая измерительная система дает возможность осуществить градуировку фотометра расчетным путем, что очень удобно в производстве и позволяет обеспечить требования метрологии. Градуировка фотометра – стандартная для всех экземпляров приборов. Контроль градуировки сводится к проверке выбранных опорных точек (10 и 500 кд/м^2) с помощью образцового лабораторного яркомера и соответствия расчетной шкалы отношения $V_{\text{эт}} / V_{\text{изм}}$ (т.е. прозрачности) фактическим значениям отношений, измеренных с помощью набора образцовых нейтральных светофильтров.

Градуировка фотометра зависит только от профиля измерительной диафрагмы, и шкала будет соответствовать расчетной при условии, что изготовление деталей и сборка диафрагмы произведены точно в соответствии с чертежами. Контроль начальных точек шкалы в процессе текущей эксплуатации фотометра производится с помощью специальной насадки, создающей образцовые яркости 10 и 500 кд/м^2 . В табл. I в сокращенном виде представлены конечные результаты расчета шкал яркомера (методика расчета не приводится).

По шкале фотометра, установленной на специальном барабане, можно произвести отсчет значений измеряемой яркости в кд/м^2 . В том случае, когда осуществляются дистанционные измерения, выходное напряжение подается на двухпроводную линию связи, длина которой может достигать 5 км. Это напряжение связано с яркостью соотношением

$$V_{\text{ф}} = 5 \cdot 10^4 \cdot U_{\text{вых}}^{-2}$$

Электрическая часть фотометра выполняет следующие функции:

Таблица I

Градировка шкалы фотометра

В _{эт} /В _{изм}	Угол поворота потенциометра, градусы	I диапазон		II диапазон	
		Яркость, кд/м ²	Выходное напряжение, В	Яркость, кд/м ²	Выходное напряжение, В
1,000	320,3	10	70,71	500	10,000
0,666	261,5	15	57,73	750	8,165
0,500	226,5	20	50,00	1 000	7,071
0,333	184,9	30	40,82	1 500	5,734
0,250	160,2	40	35,35	2 000	5,000
0,200	143,2	50	31,62	2 500	4,472
0,167	130,8	60	28,87	3 000	4,082
0,143	121,0	70	26,63	3 500	3,779
0,125	113,2	80	25,00	4 000	3,536
0,111	106,7	90	23,57	4 500	3,333
0,100	101,3	100	22,36	5 000	3,162
0,067	82,7	150	18,26	7 500	2,582
0,050	71,6	200	15,81	10 000	2,236
0,033	58,5	300	12,91	15 000	1,826
0,020	45,3	500	10,00	25 000	1,414
0,010	32,0	1000	7,071	50 000	1,000

1) преобразует световые сигналы в электрические и усиливает эти сигналы по напряжению и мощности, 2) создает напряжение возбуждения исполнительного двигателя, 3) осуществляет автоматическое переключение диапазонов измерения, 4) преобразует результат оптического измерения яркости в электрический сигнал, 5) осуществляет модуляцию световых потоков, 6) обогрев фотометра при прекращении измерений, 7) автоматическое управление положением измерительной диафрагмы, 8) индицирует и регистрирует результат измерений.

Блок-схема электрической части фотометра представлена на рис. 2. Световые сигналы, промодулированные модулятором, поступают на фотоэлектрический приемник, в качестве которого используется фотоумножитель ФЭУ-55. Сигнал фотоприемника усиливается усилителем напряжения, затем детектируется, после чего выделяется напряжение сигнала рассогласования. Сигнал рассогласования поступает на усилитель мощности, нагрузкой которого является сигнальная обмотка исполнительного двигателя ДИД-2ГА. Опорный генератор, механически связанный с модулятором, вырабатывает напряжение, частота которого равна частоте сигнала рассогласования. Напряжение генератора поступает на усилитель мощности напряжения возбуждения, нагрузкой которого яв-

ляется обмотка возбуждения исполнительного двигателя ДИД-2ТА. Вал двигателя ДИД-2ТА через редуктор механически связан со шторками измерительной диафрагмы и с осью барабана шкалы. При вращении вала двигателя перемещаются шторки диафрагмы и вращается барабан шкалы. Ось барабана механически связана с осью потенциометра - датчика выходного напряжения. Напряжение, снимаемое с потенциометра, является мерой яркости фона, и оно поступает далее на линию связи. Напряжение с линии связи поступает в автоматическую систему расчета дальности видимости ОВИ или к индикатору и регистратору результата измерений. В качестве индикатора используется цифровой вольтметр типа ЦИ312, регистратора - электронный потенциометр КСП-4.

Как уже было указано ранее, в фотометре использовано два поддиапазона. Переход с одного поддиапазона на другой осуществляется автоматически. Сигналы с устройства переключения поддиапазонов управляют электромагнитами, один из которых устанавливает перед ФФУ нейтральный фильтр I5, второй - диафрагму 22 или фильтр 24. Так как в период перехода с одного поддиапазона на другой продолжительность около 35 с показания меняются, во избежание искажения результата измерений специальное устройство блокирует измерительную линию примерно на 45 с, и в линию связи напряжение не поступает. Выбор такого периода блокировки связан с тем, что в фотометре применено обычное инерционное осреднение измеряемой яркости. Инерция прибора такова, что при скачкообразном изменении яркости в пределах всего поддиапазона время установления равновесия составляет 47 с.

Фотометр снабжен релейным устройством, позволяющим включать и выключать прибор дистанционно с помощью двухпроводной линии связи длиной до 5 км, по которой происходит и передача результата измерений. Питание фотометра производится от сети 220 В через феррорезонансный стабилизатор напряжения. Необходимые постоянные и переменные напряжения создаются блоком питания. Обогреватель прибора питается непосредственно от сети 220 В и включается автоматически при выключении фотометра; тем самым предотвращается запотевание оптических деталей при последующем включении фотометра для производства измерений.

Конструктивно фотометр выполнен в виде фотометрического блока размером 265х355х490 мм, который комплектуется феррорезонансным стабилизатором напряжения типа С-016, пультом дистанционного управления, индикатором и регистратором. Внутреннее устройство фотометра выполнено в виде двух блоков: оптико-механической части и электрической части. Все оптические элементы системы защищены от пыли; внешний корпус прибора также сделан пыленепроницаемым. С левой стороны на боковой крышке имеется окно, через которое можно делать отсчеты по шкале яркости, укрепленной на барабане. Эта шкала вспомо-

гательная, она используется при настройке фотометра и контроле показаний в процессе эксплуатации.

Фотометр яркости был подвергнут лабораторным и полевым испытаниям. Как было указано ранее, фотометр непосредственно измеряет отношение $V_{эт} / V_{изм} = n$, следовательно, $V_{изм} = V_{эт} / n$. Относительная погрешность измерения яркости равна $\Delta V_{изм} / V_{изм} = \frac{\Delta n}{n} + \frac{\Delta V_{эт}}{V_{эт}}$, т.е. она зависит от относительной погрешности измерения отношения яркостей и от относительной погрешности установки начальных точек шкал поддиапазонов т.е. яркостей 10 и 500 кд/м². Значения возможных относительных погрешностей измерения яркостей и отношения яркостей могут быть проиллюстрированы результатами поверки градуировки шкалы в $V_{эт} / V_{изм} = n$ с помощью набора нейтральных светофильтров. Результаты измерений представлены в табл.2.

Таблица 2

Результаты поверки фотометра с помощью набора нейтральных светофильтров

Прозрач- ность филь- ра	Показания фотометра	n	$\frac{\Delta n}{n} \%$	$V_{изм} = \frac{V_{эт}}{n}$ кд/м ²	Выходное напряжение, В	$V_{изм} = 5 \cdot 10^{-4} U_{вых}^2$ кд/м ²
1	2	3	4	5	6	
0,710	0,712	0,28	14,0	59,40	14,2	
0,631	0,633	0,31	15,8	56,30	15,8	
0,510	0,505	1,00	19,8	50,35	19,7	
0,393	0,395	0,50	25,3	44,50	25,2	
0,263	0,260	1,15	38,5	36,14	38,3	
0,164	0,160	2,50	62,5	28,34	62,6	
0,085	0,083	2,40	120,5	20,56	118,0	
0,030	0,026	15,40	38,5	11,35	388,0	

Прозрачность нейтральных светофильтров была известна нам с погрешностью $\pm 0,5\%$. Относительная погрешность $\frac{\Delta n}{n}$ отношения яркостей рассчитана в предположении, что разность в значениях первой и второй граф табл.2 возникла только за счет погрешностей фотометра, т.е. погрешности прозрачности фильтров мы отнесли к погрешности фотометра, так как для выявления истинной картины нужны более точные фильтры. Яркости, представленные в четвертой графе табл.2, рассчитаны в предположении, что начальное значение шкалы яркости $V_{эт}$ равно точно 10 кд/м². Значения яркости, представленные в шестой графе табл.2, рассчитаны по результатам измерения напряжения с по-

мощью цифрового вольтметра на конце измерительной линии. Начальные значения яркостей 10 и 500 кд/м² контролировались в лаборатории яркомером типа ВМ-57 с использованием специального экрана. Относительная погрешность контроля не превышала $\pm 3\%$. За контрольное значение яркости принималось среднее из десяти измерений, полученных тремя наблюдателями.

Анализ результатов поверки фотометра яркости показывает, что точность измерения яркости определяется прежде всего точностью установки начальных значений яркости с помощью контрольного яркомера. Только в конце поддиапазонов при измерении больших яркостей погрешность измерения яркости возрастает за счет роста погрешности измерения отношения яркостей. Сравнение значений яркостей, представленных в четвертой и шестой графах табл. 2 показывает, что система дистанционных измерений яркости не вносит заметных дополнительных погрешностей в результат измерений.

Разработанный фотометр предназначен для применения на аэродромах совместно с системой сбора и обработки данных о видимости на базе ЭВМ, но он может быть с успехом использован и автономно для регистрации яркости любой поверхности. На аэродромах не требуется высокой точности измерения яркости фона (10 % по ТЗ), так как погрешность определения дальности видимости огней возрастает за счет этого фактора незначительно, но необходима очень высокая устойчивость показаний прибора и стабильность градуировки при непрерывной эксплуатации. Период необслуживаемой работы фотометра должен быть не менее 10 сут.

Полевые испытания фотометра, проведенные на базе ГГО в пос. Воейково и в аэропорту Пулково, полностью подтвердили, что фотометр удовлетворяет этим требованиям. В течение двух месяцев непрерывно производилась регистрация яркости без какой-либо регулировки фотометра. По истечении этого срока была проведена поверка градуировки фотометра по фильтрам и контрольному яркомеру ВМ-57. Изменений обнаружено не было. Лабораторные и полевые испытания фотометра показали, что разработанная система фотометра, обладая большой стабильностью, способна обеспечить существенно более высокую точность измерения яркости, чем та, которую реализовали в аэродромном варианте фотометра яркости. Для повышения точности достаточно увеличить число поддиапазонов и перейти к линейному регулированию измерительного потока вместо параболического, которое мы использовали в фотометре.

Длительные измерения яркости подстилающей поверхности (фона) показали, что реальные значения яркостей в большинстве случаев значительно меньше тех, которые были рекомендованы для расчета таблиц дальности видимости огней высокой интенсивности для дневных условий

и сумерек. Поэтому оказалось, что табличные значения дальности видимости ОВИ существенно занижены по сравнению с теми, которые рассчитаны на основании измеренных значений яркости фона для тех же условий.

Разработанный фотометр перспективен для внедрения и может найти применение не только на аэродромах для измерения яркости фона, но и в ряде других областей.

Автор считает своей обязанностью выразить глубокую благодарность старшему инженеру Тищенко М.В., обеспечившей разработку необходимой технической документации.

Список литературы

1. Горышин В.И., Ковалев В.А. Методика инструментального определения дальности видимости огней взлетно-посадочной полосы (ВПП). - Труды ИГО, 1978, вып.406, с.38-45.

2. Руководство по практике наблюдений за дальностью видимости на ВПП и передачи сообщений о ней. I-е изд. Монреаль-Канада, 1981.

Г.П.Гущин, С.А.Соколенко

РАСЧЕТ ОПТИЧЕСКОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОЗОНОМЕТРА

Оптическая и электрическая системы разработанного авторами озонометра / I / близки к аналогичным системам озонометра М-83 / 7 /, который широко применяется на озонометрической сети СССР. Основным отличием оптической системы нового озонометра от оптической системы прибора М-83 является наличие в нем малогабаритного отражателя, предназначенного для наводки прибора на солнечный диск. Использование отражателя позволяет в два-три раза уменьшить массу и габариты озонометра, поскольку отпадает необходимость в использовании высотно-азимутального устройства. К еще большему уменьшению массы и габаритов озонометра приводят использование в нем одного приемника излучения (фотоэлемента Ф-4 / 2 /) вместо двух приемников излучения в приборе М-83 (фотоумножителя ФЭУ 18А и фотоэлемента Ф-4), а также применение микросхемы вместо лампового усилителя.

Оптическая система озонометра обеспечивает выполнение следующих функций: а) наводку прибора на солнечный диск или на зенит неба, с тем чтобы излучение от диска Солнца или участка неба вблизи зенита попадало через сравнительно небольшой телесный угол на фотоэлемент; б) выделение поочередно трех участков в ультрафиолетовой

области спектра, из которых первый, наиболее коротковолновый, находится в полосе поглощения озона.

Телесный угол прибора образуется с помощью входной (в комплекте их две) и выходной диафрагм, которые создают два предельных угла: $3,5^\circ$ (для прямого солнечного света) и $5,5^\circ$ (для рассеянного света от зенита неба). Прямое солнечное излучение направляется в тубус прибора с помощью отражателя, состоящего из кварцевой пластинки, имеющей две степени свободы. Излучение проходит защитную кварцевую пластинку и светофильтр, состоящий из комбинации цветных стекол и ограждающих их кварцевых пластинок. Затем излучение падает на фотоэлемент Ф-4, чувствительный к ультрафиолетовому излучению.

Выделение трех участков спектра производится за счет двусторонне режущих светофильтров, образующихся в результате комбинации цветных оптических стекол, основу которых составляет стекло УФС-2 / 3 /, выделяющее широкую полосу пропускания в УФ области спектра от 260 нм до 400 нм. При этом дополнительное пропускание в красном участке спектра от 680 до 780 нм, свойственное стеклу УФС-2, убирается за счет нечувствительности фотоэлемента Ф-4 к излучению этих длин волн.

Первый светофильтр представляет собой комбинацию цветных стекол УФС-2 (3,5 мм) и ЖС-20 (9 мм). Стекло ЖС-20 / 3 / отсекает длины волн, большие 325 нм, в результате чего первый светофильтр обладает максимумом пропускания в области длин волн 300 нм и полушириной пропускания $\Delta\lambda = 21$ нм. Второй светофильтр состоит из цветных стекол УФС-2 (8,5 мм) ЖС-3 (2 мм), СЗС-21 (1 мм) и СС-4 (1 мм). Стекла ЖС-3, СЗС-21 и СС-4 / 7 / совместным действием сдвигают максимум пропускания второго светофильтра в область 326 нм и образуют полуширину пропускания, равную $\Delta\lambda = 21$ нм. Третий вспомогательный светофильтр образуется комбинацией цветных стекол УФС-2 (8,5 мм), ЖС-3 (1 мм) и СС-5 (1 мм) с максимумом пропускания в области 348 нм и полушириной $\Delta\lambda = 31$ нм.

Расчет коэффициента пропускания оптической системы озонметра производится по формуле / 8 /:

$$\tau = \prod_{k=1}^p (1 - \rho_k) \prod_{m=1}^p (1 - \alpha_m)^{l_m}, \quad (1)$$

где ρ_k - коэффициент отражения на k -й поверхности светофильтра или кварцевой пластинки, α_m - коэффициент поглощения на единицу пути в m -м цветном стекле или кварцевой пластинке, l_m - длина пути излучения в m -м светофильтре или кварцевой пластинке. Известно, что коэффициент пропускания оптической среды с единичной длиной равен

$$1 - \alpha_m = 10^{-D_m}, \quad (2)$$

где D_m - показатель поглощения среды. Для расчета коэффициента

пропускания оптической системы используется эффективная длина волны спектральной чувствительности оптической системы, определяемая совместным действием атмосферы, светофильтров и фотоэлемента / 4 /.

Эффективная длина волны указанной оптической системы находилась путем определения положения максимума (зависящего от длины волны) подынтегрального выражения в формуле, представляющей измеряемую прибором прямую солнечную радиацию в участке спектра от λ_1 до λ_2 :

$$S_{\lambda} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \omega_{\lambda} S_{0,\lambda} \cdot 10^{-(\mu \alpha_{\lambda} + m \beta_{\lambda} + m_1 \delta_{\lambda})} d\lambda, \quad (3)$$

где ω_{λ} - спектральная чувствительность прибора, $S_{0,\lambda}$ - внеатмосферное значение плотности солнечной радиации, μ , m , m_1 - оптические массы соответственно озона, атмосферы, аэрозоля, α_{λ} - показатель поглощения озона, β_{λ} - оптическая плотность рэлеевской атмосферы, δ_{λ} - оптическая плотность аэрозоля.

Результаты расчета эффективной длины волны λ_{max} озонметра в зависимости от высоты Солнца θ и суммарного озона X приводятся в табл. I.

Таблица I

Эффективная длина волны λ_{max} (нм) озонметра в зависимости от высоты Солнца θ и суммарного озона X

X , атм-см	θ°						Светофильтр
	10	20	40	60	80	90	
0,20	317	314	310	310	310	310	I
	330	328	328	326	326	326	II
0,30	319	315	312	310	310	310	I
	331	328	328	328	326	326	II
0,40	321	317	314	312	311	311	I
	332	328	328	328	328	328	II
0,50	321	316	314	313	312	312	I
	332	330	328	328	328	328	II

Коэффициент пропускания оптической системы озонметра рассчитывался для двух крайних случаев сильного и слабого ослабления:

1) $\theta = 10^\circ$, $X = 0,5$ атм-см; 2) $\theta = 90^\circ$, $X = 0,2$ атм-см. В первом случае (табл. I) $\lambda_{\text{max}} = 321$ нм (I светофильтр) и $\lambda'_{\text{max}} = 332$ нм (II светофильтр), во втором случае $\lambda_{\text{max}} = 310$ нм (I светофильтр) и $\lambda'_{\text{max}} = 326$ нм (II светофильтр).

В первом случае исходные данные для расчета следующие:

а) коэффициент отражения для пластинки отражателя с углами падения $50-80^\circ$ изменяется в пределах $6,6 - 39\% / 5 /$. В среднем можно принять, что $\rho_1 = 0,1$;

б) коэффициент отражения для кварцевой пластинки с углом падения 0° равен $\rho_2 = 0,05$;

в) коэффициенты отражения на поверхности раздела цветное стекло - воздух следующие / 3 /:

$\rho_3 = 0,048$	(для УФС-2)
$\rho_4 = 0,045$	(для ЖС-20)
$\rho_5 = 0,044$	(для ЖС-3)
$\rho_6 = 0,045$	(для СЗС-2I)
$\rho_7 = 0,043$	(для СС-4)
$\rho_8 = 0,051$	(для СС-5)

г) показатели поглощения (мм^{-1}) следующие / 3 /:

$\alpha_1 = 0,028$	(I светофильтр, УФС-2),
$\alpha_1' = 0,029$	(II светофильтр, УФС-2),
$\alpha_2 = 0,193$	(I светофильтр, ЖС-20),
$\alpha_3 = 0,300$	(II светофильтр, ЖС-3),
$\alpha_4 = 0,400$	(II светофильтр, СЗС-2I),
$\alpha_5 = 0,45$	(II светофильтр, СС-4)

В первом случае коэффициент пропускания оптической системы озонметра для первого светофильтра, согласно формулам (I) и (2), будет равен

$$\tau_1 = (1-0,1) (1-0,05)^6 (1-0,048)^2 (1-0,045)^4 \cdot 10^{-0,193 \cdot 9} = 0,0073$$

Коэффициент пропускания оптической системы для второго светофильтра будет равен: $\tau_2 = 0,00106$;

Во втором случае коэффициент пропускания для первого светофильтра $\tau_1' = 0,0199$; для второго светофильтра $\tau_2' = 0,00105$.

Коэффициент пропускания атмосферы для двух предельных случаев, рассмотренных выше, рассчитывается по формуле / 3 /.

$$\tau_a = 10^{-(\mu x + m\beta + m\delta)} \quad (4)$$

Исходные данные для расчета по формуле (4) и результаты расчета для четырех вариантов приведены в табл.2.

Расчет энергии солнечного излучения, поступающего на фотозлемент, производится с учетом площади наименьшей диафрагмы. В рассматриваемом случае площадь наименьшей (выходной) диафрагмы равна

$S = \pi r^2 = 3,14 \cdot 3^2 = 28,26 \text{ мм}^2 = 28,26 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$. Для упрощения расчетов, которое не сказывается на окончательном результате, предположим, что действительная форма кривой пропускания светофиль-

тра эквивалентна прямоугольнику, высота которого равна коэффициенту пропускания светофильтра, а ширина – полуширине полосы пропускания светофильтра (ширина полосы пропускания светофильтра на половине высоты в максимуме пропускания), т.е. площадь равна $\tau_{\Delta\lambda}$.

Значения внеатмосферных плотностей энергетической освещенности $S_{0\lambda}$, создаваемой солнечной радиацией в разных участках спектра, приведены в табл.2 / 5 /.

Таблица 2

Исходные данные / 5,6 / и результаты расчета $\tau_{\Delta\lambda}$

Свето- фильтр	λ_{max} нм	θ°	μ	m	α см ⁻¹	β	δ	χ атм-см	$\tau_{\Delta\lambda}$	$S_{0\lambda}$
Первый случай										
I	321	10	5,23	5,57	0,210	0,402	0,3	0,5	0,000035	0,850
II	332	10	5,23	5,57	0,050	0,343	0,25	0,5	0,000346	1,065
Второй случай										
I	310	90	I	I	1,06	0,466	0,05	0,2	0,187	0,553
II	326	90	I	I	0,105	0,377	0,05	0,2	0,356	1,129

Энергия солнечной радиации, падающей на фотоэлемент, рассчитывается по формуле

$$\Phi = S_{0\lambda} \tau_{\Delta\lambda} \Delta\lambda. \quad (5)$$

В первом случае энергия, падающая на фотоэлемент, будет равна для I светофильтра

$$\Phi_1 = 0,850 \cdot 0,000035 \cdot 28,26 \cdot 10^{-4} \cdot 0,0073 \cdot 21 = 1,29 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}; \text{ для II}$$

$$\Phi_2 = 2,32 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}.$$

Во втором случае энергия, падающая на фотоэлемент, будет равна для I светофильтра $\Phi'_1 = 1,22 \cdot 10^{-4} \text{ Вт}$; для II $\Phi'_2 = 0,25 \cdot 10^{-4} \text{ Вт}$.

Отсюда динамические диапазоны изменений падающей на фотоэлемент энергии для I светофильтра

$$\frac{\Phi'_1}{\Phi_1} = \frac{0,25 \cdot 10^{-4}}{1,29 \cdot 10^{-8}} = 0,94 \cdot 10^4 \text{ для II } \frac{\Phi'_2}{\Phi_2} = \frac{0,25 \cdot 10^{-4}}{2,32 \cdot 10^{-8}} = 0,11 \cdot 10^4.$$

Значения спектральной чувствительности фотоэлемента Ф-4 в рассматриваемых участках спектра приведены в табл.3 / 2 /.

Зная спектральную чувствительность фотоэлемента Ф-4 и энергию, падающую на фотоэлемент, можно рассчитать силу тока на выходе фотоэлемента (путем перемножения этих величин). Результаты расчета для

Таблица 3

Некоторые характеристики озонметра Ф-4

Длина волны λ_{max} нм	Падающая на фотоэлемент Ф-4 энергия Φ_{λ} Вт	Спектральная чувствитель- ность фото- элемента Ф-4 ω_{λ} мкА/Вт	Сила тока на выходе фотоэле- мента Ф-4, мкА	Сила тока на выхо- де озонметра, мкА	
				при коэф- фициенте передачи $K = 5 \cdot 10^4$	при коэф- фициенте передачи $K = 20$
1	2	3	4	5	6
321	$3,0 \cdot 10^4$	$1,29 \cdot 10^{-8}$	$3,87 \cdot 10^{-4}$	19,4	-
332	$3,2 \cdot 10^4$	$2,32 \cdot 10^{-8}$	$7,42 \cdot 10^{-4}$	37,1	-
310	$2,8 \cdot 10^4$	$1,22 \cdot 10^{-4}$	3,41	-	68,2
326	$3,0 \cdot 10^4$	$0,25 \cdot 10^{-4}$	0,75	-	15,0

четырёх вариантов приведены в четвертой графе табл.3. Пользуясь полученными значениями силы тока на выходе фотоэлемента, можно рассчитать коэффициент передачи усилителя озонметра, предназначенного для усиления фототока (пятая и шестая графы табл.3). В качестве выходного отсчетного прибора в озонметре используется микроамперметр со шкалой 0-100 мкА. Как следует из табл.3, для работы озонметра в его динамическом диапазоне достаточен максимальный коэффициент передачи усилителя $K = 5 \cdot 10^4$, а минимальный $K = 20$.

Электрическая система озонметра предназначена для линейного усиления электрического сигнала фотоэлемента Ф-4. Роль усилителя выполняет малогабаритная микросхема К140УД8А, имеющая высокое входное сопротивление $R_{\text{вх}} = 10^9$ Ом. Электрическая система озонметра позволяет скачкообразно усиливать фототок, что необходимо при измерениях, поскольку в период измерений изменяются высота Солнца и значения суммарного озона. Скачкообразное изменение коэффициента передачи достигается введением цепочки нагрузочных сопротивлений от 12 кОм до 680 МОм. Коэффициент передачи усилителя $K \geq 5 \cdot 10^4$, что соответствует расчетам, результаты которых приведены в табл.3. Микросхема К140УД8А имеет достаточно малый ток потребления и работает от серийно выпускаемых сухих электробатарей (например, марки 3336Д). В электрической системе предусмотрена внешняя плавная балансировка нуля, не ухудшающая входных характеристик усилителя.

Список литературы

1. А.с.892395 (СССР). Озонметр / Гушин Г.П., Соколенко С.А.
- Заявл.28.04.80 № 2917357/18-10. - Оpubл. в Б.И., 1981, № 47.

2. Берковский А.Г., Гаванин В.А., Зайдель И.Н. Вакуумные фото-электронные приборы. - М.: Энергия, 1976, 343 с.
3. ГОСТ 9411-75. Стекло оптическое цветное. М., 1976, 49 с.
4. Гушин Г.П. Исследование атмосферного озона. - Л.: Гидрометеиздат, 1963, 269 с.
5. Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике. - М.: Физматгиз, 1962, 208 с.
6. Макарова Е.А., Харитонов А.В. Распределение энергии в спектре Солнца и солнечная постоянная. - М.: Наука, 1972, 288 с.
7. Методические указания по производству и обработке наблюдений за общим содержанием атмосферного озона. Л.: Гидрометеиздат, 1981, 45 с.
8. Якушенков Ю.Г. Основы теории и расчета оптико-электронных приборов. - М.: Сов.радио, 1971, 335 с.

А.А.Елисеев, В.М.Степанова

О МЕТОДИКЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЛУЧИСТОГО ПРИТОКА ТЕПЛА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

Идея использования прибора типа "черного шара" для измерения лучистого притока тепла в атмосфере была предложена в США. Независимо прибор подобного назначения, названный "суммарным балансометром", был разработан в СССР / 4 /. Данная идея остается актуальной и в настоящее время. Объясняется это, с одной стороны, сложностью экспериментального определения лучистого притока тепла и, следовательно, неоднозначностью оценки пригодности для измерений черного шара. С другой стороны, привлекает простота конструкции черного шара и доступность использования при массовых измерениях.

Рассмотрим, следуя / 4,5 /, эмпирическое обоснование "метода черного шара" в длинноволновом диапазоне. Известно, что

$$\varepsilon(z) = \int_0^\infty k_\lambda(z) [A_\lambda(z) + B_\lambda(z) - 2E_\lambda(z)] d\lambda, \quad (I)$$

где z - вертикальная координата; ε - лучистый приток тепла в единицу объема воздуха; λ - длина волны излучения; k_λ - монокроматический показатель поглощения; A_λ , B_λ , E_λ - монокроматические потоки излучения соответственно нисходящий, восходящий, излучаемый черным телом при температуре воздуха на высоте z . Сделав допущение о неселективности поглощения в воздухе, можно ввести средний для длинноволновой области показатель поглощения $k(z)$. Тогда из (I) имеем

$$\varepsilon = K(\lambda) [A(\lambda) + B(\lambda) - 2E(\lambda)], \quad (2)$$

где A , B , E — интегральные потоки излучения. Множитель в квадратных скобках правой части (2) представляет собой величину, пропорциональную показаниям прибора типа „черного шара“. Однако обстоятельством, препятствующим использованию такого прибора, является, согласно / 4,5 /, неопределенность значения $K(\lambda)$. Эта неопределенность вызвана тем, что поглощение радиации воздухом в отличие от ее поглощения черным шаром весьма селективно. Поэтому в радиационном поле атмосферы значение $K(\lambda)$ зависит от конкретного распределения температуры воздуха, содержания поглощающих газов, аэрозоля и может быть даже отрицательным / 5 /. В / 4 / указывается, что в свободной атмосфере, для условий которой выполнены практически все исследования применимости черного шара, этот метод большей частью непригоден. В приземном слое атмосферы лучистый приток тепла при сверхadiaбатических и инверсионных стратификациях может быть значительным и определяется в основном влиянием спектральных интервалов сильного поглощения, иначе говоря, лучистым теплообменом с подстилающей поверхностью и близлежащими слоями воздуха. В этих условиях роль спектральных интервалов слабого поглощения несущественна, т.е. приближенно может выполняться допущение о неселективности поглощения в воздухе / 4 /, что подтверждается и расчетом / 1 /.

Однако именно для условий приземного слоя экспериментальные оценки пригодности черного шара практически единичны / 7 / и их результаты представляются недостаточно надежными из-за невысокой точности измерений лучистого притока тепла. В настоящей работе проведено сравнение средних часовых показаний комплекта приборов, измеряющих величину $[A(\lambda) + B(\lambda) - 2E(\lambda)]$, соответствующую показаниям черного шара и прибора, непосредственно измеряющего лучистый приток тепла на высоте своего размещения / 2 /. Наблюдения в объеме 58 часовых серий (исключая периоды 0–5 ч) проводились в полупустыне Западного Казахстана в летнее время в течение месяца. Метеорологические условия характеризовались в среднем устойчивой малооблачной погодой, значительными сверхadiaбатическими градиентами температуры днем и инверсионными градиентами — вечером и ночью. Часто наблюдения велись в нестационарных условиях при наличии быстроменяющейся облачности, что усложняло обработку данных и снижало точность оценки.

В настоящей работе рассматривался лучистый теплообмен только в длинноволновой области, поскольку, согласно ряду экспериментальных оценок, выполненных для приземного слоя (см. например, / 6 /), лучистый нагрев за счет поглощения коротковолнового излучения сравнительно мал. Другое допущение состояло в том, что вместо черного шара использовались два „черных“ приемника типа пиргеометров. Такая

замена допустима, так как равновесные температуры черного шара и черного диска почти не отличаются в радиационном поле атмосферы / 8 /. В качестве показаний черного шара использовалась, таким образом, величина

$$R = A + B - 2E(z), \quad (3)$$

где потоки A и B измерялись посредством бело-блестящих радиометров ЛЭТИ / 3 /. Радиометры, установленные на актинометрической стойке с теневым кольцом на высоте 1,5 м, были отградуированы по снежному небу; учитывалась их чувствительность к коротковолновой радиации. Их показания записывались посредством самописца КСП-4. Значение E (%) вычислялось по температуре воздуха на высоте z , измеренной аспирационным термометром. Предел случайной погрешности вычисления R составлял, согласно оценкам, $\pm 0,015 \text{ кВт/м}^2$.

Для измерения E использовался селективный приемник оптико-акустического типа с полусферическим углом зрения, именний окно из КРС-5 / 2 /. При измерениях приемник поочередно поворачивался окном вверх и вниз для раздельного измерения нисходящего ϵ_n и восходящего ϵ_v длинноволновых лучистых притоков. При обработке значение E вычислялось в виде $E = \epsilon_v + \epsilon_n$. При перемещениях по вертикали приемник выдерживался в течение нескольких минут на высотах 0,1-0,5-2,0 м; при этом производилась запись показаний посредством самописца ЭПП-09МЗ. Предел относительной случайной погрешности измерения E составлял, согласно оценкам, ± 20 %.

На рис.1 представлены результаты 58 часовых серий измерений R и E для каждой из высот. Здесь E выражено в единицах скорости радиационного изменения температуры $^{\circ}\text{C/ч}$. Как видно, диапазон значений E весьма велик: от 30 до -10 $^{\circ}\text{C/ч}$, причем максимальные значения лучистого нагрева наблюдались в околополуденные часы, максимальное радиационное выхолаживание в вечерние часы, в начале формирования инверсии. Из рис.1 видно, что для каждой из высот между значениями R и E существует статистическая связь, которую можно аппроксимировать линейной зависимостью типа

$$\bar{E} = mR + b, \quad (4)$$

где коэффициент m пропорционален тангенсу угла наклона линии регрессии относительно оси абсцисс.

Аналогичная связь видна из рассмотрения рис.2. Здесь $\bar{E}$ - значение лучистого притока тепла, среднее в слое 0,1-2,0 м, полученное как средневзвешенное из значений E (%). Высота $z = 2,0$ м принята для стандартных наблюдений за температурой воздуха на сети станций, поэтому в (3) используется это же значение z . Заметим, что измеренные значения E соответствовали заметному изменению

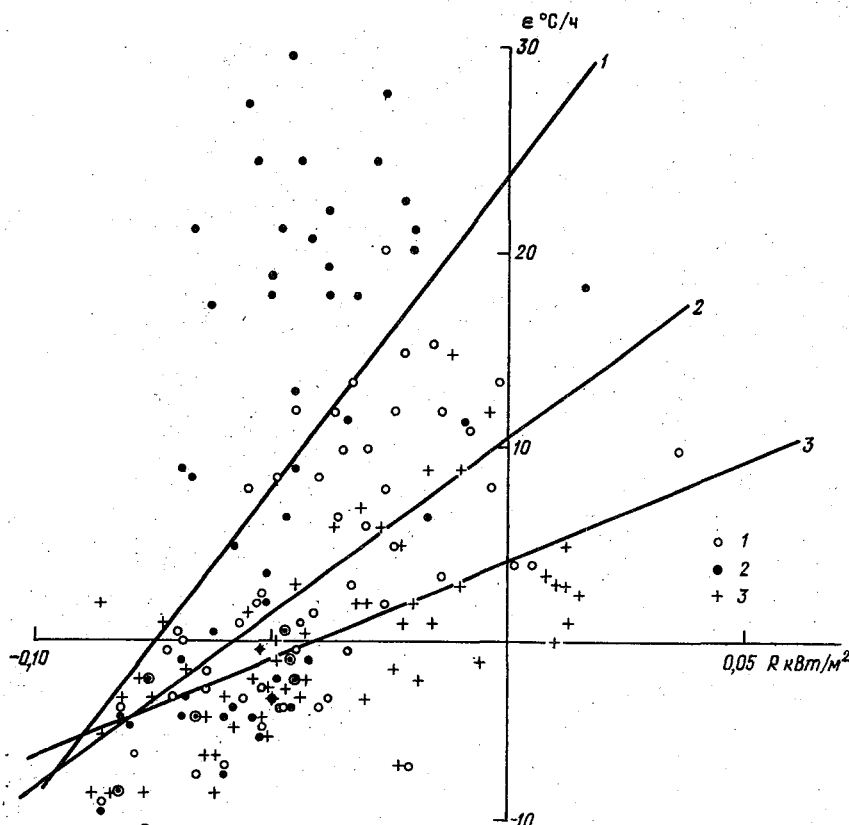


Рис. I. Связь показаний "черного шара" и значений лучистого притока тепла на высотах 0,1 м (1); 0,5 м (2); 2,0 м (3). Сплошные линии - линии регрессии.

Таблица

Статистические характеристики связи показаний черного шара и значений лучистого притока тепла

z, м	n	$\bar{b}$	$\bar{b}/m$	r	$\delta_{\epsilon}, ^\circ\text{C}/\text{ч}$
0,1	327	24,3	0,074	0,54	$\pm 10,0$
0,5	186	10,8	0,058	0,65	$\pm 5,6$
2,0	102	4,2	0,041	0,62	$\pm 4,0$
0,1-2,0	162	8,6	0,053	0,75	$\pm 3,9$

значения эффективного излучения (В-А) с высотой в слое 0,1 - 2,0 м, до $-0,025 \text{ кВт}/\text{м}^2$ при сверхадиабатической и до $0,012 \text{ кВт}/\text{м}^2$

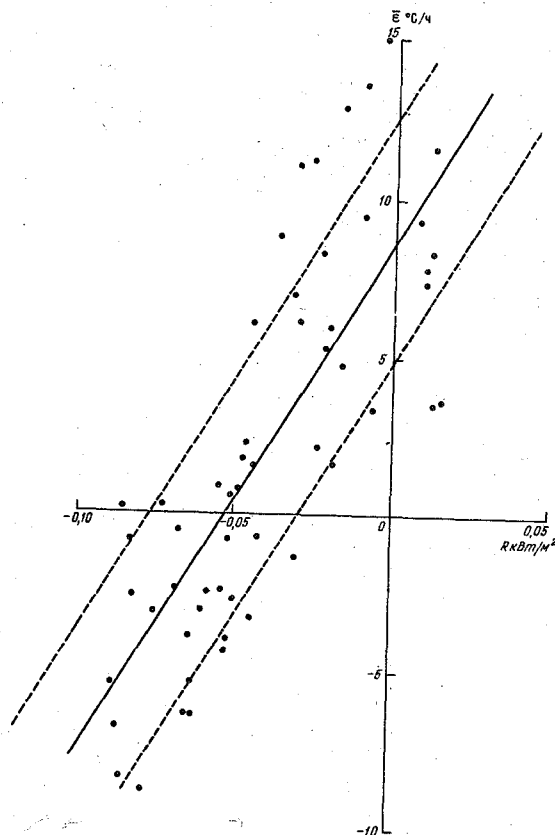


Рис.2. Связь показаний "черного шара" и значений лучистого притока тепла в слой 0,1-2,0 м.
Пунктирные линии ограничивают область средних квадратических отклонений.

при инверсионной стратификации.

По данным, представленным на рис.1 и 2, были рассчитаны уравнения регрессии типа (4), коэффициенты линейной корреляции r и средние квадратические отклонения δ_e . Результаты расчетов сведены в таблицу. Как видно, имеется корреляция между значениями E и R ; значения коэффициента корреляции для слоя несколько выше, чем для уровня. Значение m заметно уменьшается с увеличением λ .

Характер связей, представленных на рис.1, 2 и в таблице, можно объяснить, сопоставляя уравнения регрессии (4) и уравнения шка-

ды черного шара (2). Величину $(-\delta/m)$ можно рассматривать как часть измеряемой черным шаром величины R , приходящуюся на спектральные интервалы слабого поглощения, в том числе на окна прозрачности. Поэтому в рассматриваемых условиях эта часть R относительно мало влияет на лучистый приток тепла и численно равна значению R при $\varepsilon \approx 0$, что для исследуемых данных составляет $-0,04...-0,08$ кВт/м².

Величина m пропорциональна, очевидно, показателю поглощения k , среднему по спектру. Рост m , а значит, и K при уменьшении Z (и одновременно толщины влияющих слоев) объясняется тем, что с увеличением градиентов температуры воздуха увеличивается значение лучистого притока тепла. Обычно для инверсионных условий

$\varepsilon \neq 0$, причем значение ε , согласно оценкам (см. например, /5/), неоднозначно зависит от Z . Этому соответствует отсутствие четкой зависимости $k(Z)$ на рис. I при $\varepsilon \neq 0$. Увеличение $\chi(\bar{\varepsilon}, R)$ относительно $\chi(\bar{\varepsilon}, R)$ представляется логичным, так как случайная погрешность определения $\bar{\varepsilon}$ меньше, чем погрешность измерения ε . Уменьшение χ для высоты 0,1 м несколько неожиданно, однако его можно объяснить ростом погрешности измерения $\varepsilon(Z=0,1 \text{ м})$ из-за увеличения роли флуктуаций температуры малых участков подстилающей поверхности при уменьшении Z .

Значения δ_{ε} , найденные по формуле $\delta_{\varepsilon} = \pm \sqrt{\frac{\sum (\varepsilon(R) - \bar{\varepsilon})^2}{n-1}}$, характеризуют случайную погрешность вычисления ε по измеренному значению R и уравнению регрессии. Здесь $\varepsilon(R)$ - вычисленное по R значение лучистого притока, n - число часовых серий.

Итак, в приземном слое атмосферы методом черного шара можно приближенно оценивать значения среднего в слое и на уровне лучистого притока тепла при сверхадиабатических и инверсионных стратификациях. Для уточнения зависимости между показаниями черного шара и значением лучистого притока тепла, в частности для оценки изменчивости значений m и δ , необходимо проведение аналогичных экспериментов в большем объеме и в разных физико-географических условиях.

Список литературы

1. Елисеев А.А. О приближенном моделировании поглощательных свойств воздуха в длинноволновой области различными материалами. - Труды ИГО, 1968, вып. 226, с. 34-41.
2. Елисеев А.А. Оптико-акустический метод прямого измерения лучистого притока тепла в атмосфере. - Изв. АН СССР, ФАО, 1977, т. 13, № 10, с. 1018-1024.
3. Козырев Б.П. Новые системы актинометрических приборов. - Изв. ЛЭТИ, 1969, вып. 87, с. 118-128.

4. Кондратьев К.Я. О возможности прямых измерений лучистого притока. В кн.: Проблемы физики атмосферы. Л.: Изд-во ЛГУ, 1963, т. I, с. 3-11.

5. Шехтер Ф.Н. О методике определения лучистого притока тепла. - Труды ИГО, 1962, вып. 127, с. 14-25.

6. Foot I.S. Spectrophone measurements of the absorption of solar radiation by aerosol. Quart. J. Roy. Met. Soc., 1979, vol. 105, p. 273-283.

7. Funk I.P. Comparison of radiative divergence near the ground with black ball measurements. J. Meteorol., 1961, Vol. 18, N 5.

8. Mantis H.T. Observations of infrared cooling of a tropical air mass. J. Geophys. Res., 1961, Vol. 66, N 2.

С.И. Зачек

ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ БАЛАНСА ДЛИННОВОЛНОВОЙ РАДИАЦИИ

В настоящее время на сети метеорологических станций прямые измерения баланса длинноволновой радиации (БДР) у поверхности Земли не производятся из-за отсутствия соответствующей аппаратуры. Существующие методы определения БДР по данным об интегральной остаточной радиации и балансу коротковолновой радиации сопровождаются значительными погрешностями. Вместе с тем данные о БДР необходимы для привязки спутниковых измерений уходящего излучения, оценки эффективности гелиоэнергетических установок, при гидрологических прогнозах и др.

Показатели назначения балансомера приведены в табл. I.

Таблица I

Показатели назначения балансомера

Технические данные и характеристики	Допускаемое значение
Диапазон энергетической освещенности, кВт/м ²	0,15...-0,40
Спектральный диапазон измеряемой энергетической освещенности, мкм	I - 30
Разность чувствительностей сторон, %	Не более 2
Угол зрения в плоскости, перпендикулярной оси вращения окон, градусы	180
Время установления выходного сигнала, с	10
Коэффициент преобразования, мВ м ² /кВт	Не менее 4

Технические данные и характеристики	продолж. табл. I Допускаемое значение
Предел допускаемой основной погрешности, %	15
Внутреннее сопротивление, Ом	20 ± 5

I. Обоснование принципа действия

Известны балансомеры следующих четырех типов: с открытыми черными приемными поверхностями; с открытыми черными поверхностями, обдуваемыми потоком воздуха с постоянной скоростью; с приемными поверхностями, защищенными тонкими полиэтиленовыми колпаками, полусферическая форма которых обеспечивается поддувом изнутри сухим воздухом или азотом; с приемными поверхностями, защищенными полиэтиленовыми колпаками, обдуваемыми воздухом снаружи. Всем этим балансомерам присущ ряд недостатков / 8 /. Балансомеры с открытыми приемными поверхностями подвержены влиянию ветра, пыли и гидрометеоров. У защищенных балансомеров может иметь место изменение показаний за счет перегрева защитных колпаков. Ни один из указанных балансомеров не позволяет измерять длинноволновый баланс.

Разработаны приборы, позволяющие непосредственно измерять радиационный баланс в спектральном интервале от 3-4 мкм до 50 мкм. Примером может служить балансомер, состоящий из двух идентичных дифференциально включенных пиргеометров / 10 /, расположенных таким образом, что их приемные площадки направлены в противоположные стороны. Каждый из пиргеометров такого балансомера состоит из термоэлектрического неселективного приемника, помещенного в массивный металлический корпус, длинноволнового полусферического светофильтра из иодобромистого таллия KRS-5 с влагозащитной пленкой на наружной поверхности и вакуумно-напыленным интерференционным фильтром на внутренней. Спектральный диапазон чувствительности прибора 4-50 мкм. Прибор, по замыслу авторов, предназначался для работы как в ночных, так и в дневных условиях.

Анализ конструкции этого прибора, а также результатов его испытаний в полевых условиях / II / позволил установить следующие недостатки:

существенную зависимость показаний от ветра, температуры воздуха и нагрева защитного колпака солнечной радиацией, в связи с чем погрешность измерений может достигать 30 %;

гигроскопичность материала KRS -5. Надо отметить, что применение органических защитных пленок не спасает положения, так как при длительной эксплуатации возможны царапины, через которые влага

будет разрушать светофильтр;

сложность и неэффективность электронной системы регулирования температуры прибора.

Указанные особенности рассмотренных выше типов балансомеров вынудили исследователей искать пути преодоления трудностей, связанных с нагревом оптических окон, защитой приемников от влияния ветра, гидрометеоров, пыли и пульсаций температуры окружающего воздуха. Палтридж / I2 / в 1969 г. сделал попытку уменьшить влияние неравномерного нагрева сферы из черного полиэтилена, в центре которой помещался термоэлектрический балансомер, путем ее быстрого вращения относительно горизонтальной оси. Однако такой прибор распространения не получил.

Считая перспективным метод уменьшения влияния неоднородного нагрева защитных фильтров на результаты измерений радиационного баланса путем их вращения относительно дифференциально включенных приемников излучения, мы попытались создать более надежную конструкцию с вращающимися фильтрами. В основу были положены следующие требования: 1) исключить вследствие технологических трудностей необходимость применения светофильтров в виде полных сфер; 2) для светофильтров использовать перспективные материалы типа оптической керамики, стойкой к атмосферным воздействиям; 3) применить высокочувствительные и технологические полупроводниковые термодпары.

Для вывода основных соотношений, поясняющих принцип действия, рассмотрим схему балансомера и действующие на него потоки (рис. I) Балансомер содержит две термобатареи 2 и 3, включенные по дифференциальной схеме. Сами батареи установлены на неподвижном основании 4 из высокотеплопроводного материала, что должно обеспечить равномерную температуру по всему объему этого основания. Для защиты приемников излучения от внешних воздействий используется оптический фильтр I. Этот фильтр выполняет следующие функции: выделяет потоки инфракрасного излучения атмосферы и Земли, ослабляет влияние на показания прибора пульсаций температуры воздуха и ветра, защищает приемники от гидрометеоров и пыли. Фильтр закреплен в обойме 5, вращающейся с угловой скоростью ω .

Полагая, что плотности потоков всех видов радиации, падающих на прибор, постоянны или медленно меняются во времени, а также, что распределение температуры на вращающихся элементах балансомера неизменно (или медленно меняется), для радиационного баланса верхней термобатареи 2 можно записать

$$E_A \delta \alpha + E_\phi - E_1 \quad (I)$$

где E_A - тепловое излучение атмосферы, δ - коэффициент поглощения приемной поверхности верхней термобатареи, α - коэффициент

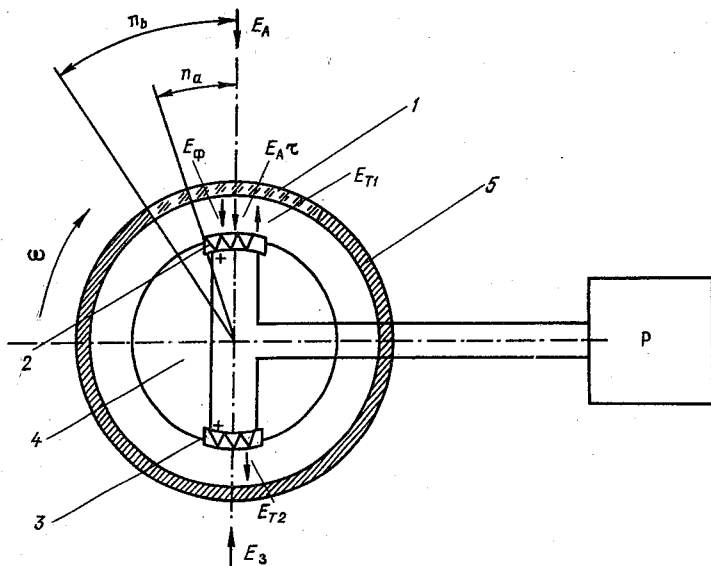


Рис. I. Схема балансомера с вращающимся светофильтром (Р - регистратор).

пропускания фильтра, E_ϕ - плотность потока собственного теплового излучения фильтра, E_1 - плотность потока теплового излучения приемной поверхности верхней термобатареи.

Для нижней термобатареи будет иметь место аналогичное (I) выражение

$$E_3 S_2 \tau + E_\phi - E_2, \quad (2)$$

где E_3 - тепловое излучение Земли, E_2 - тепловое излучение приемной поверхности нижней термобатареи.

В соответствии с законом сохранения энергии изменение теплосодержания термобатареи ΔQ_1 за любой промежуток времени равно количеству тепла, подведенного за счет лучистого притока ΔQ_2 и теплопроводности ΔQ_3 , т.е.

$$\Delta Q_1 = \Delta Q_2 + \Delta Q_3. \quad (3)$$

Изменение теплосодержания находится по известной формуле

$$\Delta Q_1 = cm \frac{d\theta}{dt}, \quad (4)$$

где c — удельная теплоемкость термобатарей; m — масса термобатарей; θ — превышение средней по объему температуры термобатареи над температурой корпуса.

Приток тепла за счет излучения определяется выражением (1), поток тепла за счет теплопроводности рассчитывается по формуле

$$\Delta Q_3 = \lambda \theta, \quad (5)$$

где λ — термическая проводимость термобатареи (Вт/К).

Подставляя (1) и (5) в (3), после несложных преобразований получаем дифференциальное уравнение, описывающее изменения температуры верхней термобатареи

$$\frac{d\theta_1}{dt} + \frac{1}{\gamma} \theta_1 = \frac{1}{cm} (E_A S_1 \tau + E_\Phi - E_1); \quad (6)$$

$$\gamma = cm \frac{1}{\lambda}, \quad (7)$$

где γ — постоянная времени термобатареи.

После аналогичных преобразований получим подобное уравнение и для нижней термобатареи:

$$\frac{d\theta_2}{dt} + \frac{1}{\gamma} \theta_2 = \frac{1}{cm} (E_3 S_2 \tau + E_\Phi - E_2). \quad (8)$$

При равномерном вращении обоймы 2 закона изменения потоков на приемных поверхностях верхней и нижней термобатарей можно для простоты выразить моделями трапецеидальной формы, как показано на рис.2. Разложим заданные на рис.2 модели в ряд Фурье и будем рас-

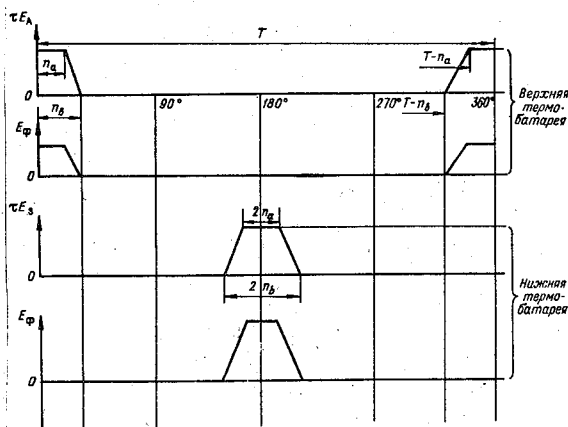


Рис.2. Графическое представление изменений потоков излучения за период вращения обоймы.

сма тривать только первые два члена ряда - постоянную составляющую и первую гармонику. В силу симметрии I-го рода коэффициенты ряда Фурье выражаются следующими выражениями:

$$\left. \begin{aligned} c_k &= \frac{4}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} f(t) \cos\left(k \frac{2\pi t}{T}\right) dt, \\ b_k &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

где $k = 0, 1, 2, \dots$; $f(t)$ - функция, разлагаемая в ряд; T - период вращения обоемы со светофильтрами.

Принимая во внимание трапецеидальный закон изменения потоков, падающих на приемные поверхности термобатарей, можно написать для верхней термобатареи:

$$\left. \begin{aligned} 0 < t < n_a & E_{A1} = \alpha \delta_1 E_A, \\ n_a < t < n_b & E_{A2} = \frac{\alpha \delta_1 E_A}{n_a - n_b} (t - n_b), \\ n_b < t < \frac{T}{2} & E_{A3} = 0; \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

$$\left. \begin{aligned} 0 < t < n_a & E_{\Phi 1} = \delta_1 E_{\Phi}, \\ n_a < t < n_b & E_{\Phi 2} = \frac{\delta_1 E_{\Phi}}{n_a - n_b} (t - n_b), \\ n_b < t < \frac{T}{2} & E_{\Phi 3} = 0; \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

$$\left. \begin{aligned} 0 < t < \frac{T}{2} - n_b & E_{31} = 0, \\ \frac{T}{2} - n_b < t < \frac{T}{2} - n_a & E_{32} = \frac{\alpha \delta_2 E_3}{n_b - n_a} \left[t - \left(\frac{T}{2} - n_b \right) \right], \\ \frac{T}{2} - n_a < t < \frac{T}{2} & E_{33} = \alpha \delta E_3; \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

$$\left. \begin{aligned} 0 < t < \frac{T}{2} - n_b & E_{\Phi 1} = 0, \\ \frac{T}{2} - n_b < t < \frac{T}{2} - n_a & E_{\Phi 2} = \frac{\delta_2 E_{\Phi}}{n_b - n_a} \left[t - \left(\frac{T}{2} - n_b \right) \right], \\ \frac{T}{2} - n_a < t < \frac{T}{2} & E_{\Phi 3} = \delta_2 E_{\Phi}. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Используя (10) - (13), по формуле (9) находим два члена ряда Фурье для верхней и нижней термобатарей:

$$E_{A0} = \frac{2}{T} \alpha \delta_1 E_A (n_a + n_b), \quad (14)$$

$$E_{z0} = \frac{2}{T} \tau \delta_z E_s (n_a + n_b), \quad (I5)$$

$$E_{1\varphi 0} = \frac{2}{T} \delta_1 E_\varphi (n_a + n_b), \quad (I6)$$

$$E_{2\varphi 0} = \frac{2}{T} \delta_2 E_\varphi (n_a + n_b), \quad (I7)$$

$$E_{A\varphi 1} = \kappa \tau \delta_1 E_A \sin \frac{2\pi}{T} t, \quad (I8)$$

$$E_{1\varphi} = \kappa_2 \delta_1 E_\varphi \sin \frac{2\pi}{T} t, \quad (I9)$$

$$E_{3\varphi 1} = \kappa \tau \delta_2 E_s \sin \frac{2\pi}{T} t, \quad (20)$$

$$E_{2\varphi} = -\kappa_2 \tau \delta_2 E_\varphi \sin \frac{2\pi}{T} t, \quad (2I)$$

где E_{A0} , E_{z0} - постоянные составляющие излучения атмосферы и Земли, поглощенные верхней и нижней термобатареями соответственно;

$E_{1\varphi 0}$, $E_{2\varphi 0}$ - постоянные составляющие излучения верхнего и нижнего фильтров соответственно; $E_{A\varphi 1}$, $E_{3\varphi 1}$ - первые гармоники излучения атмосферы Земли, поглощенного верхней и нижней термобатареями соответственно; $E_{1\varphi}$, $E_{2\varphi}$ - первые гармоники излучения фильтра, поглощенного верхней и нижней термобатареями соответственно; κ_1 , κ_2 - коэффициенты, зависящие от конструкции, n_a , n_b - соответствующие доли периода (рис.2).

При подстановке выражений (I4)-(2I) в дифференциальные уравнения (6) и (8) получаем:

$$\frac{d\theta_1}{dt} + \frac{1}{\gamma} \theta_1 = \frac{1}{cm} \left[\frac{2}{T} \tau \delta_1 E_A (n_a + n_b) + \frac{2}{T} \delta_1 E_\varphi (n_a + n_b) + \right. \quad (22) \\ \left. + \kappa \tau \delta_1 E_A \sin \frac{2\pi}{T} t + \kappa_2 \delta_1 E_\varphi \sin \frac{2\pi}{T} t - E_{T1} \right],$$

$$\frac{d\theta_2}{dt} + \frac{1}{\gamma} \theta_2 = \frac{1}{cm} \left[\frac{2}{T} \tau \delta_2 E_s (n_a + n_b) + \frac{2}{T} \delta_2 E_\varphi (n_a + n_b) - \right. \quad (23) \\ \left. - \kappa \tau \delta_2 E_s \sin \frac{2\pi}{T} t - \kappa_2 \delta_2 E_\varphi \sin \frac{2\pi}{T} t - E_{T2} \right].$$

Вычитая уравнение (23) из уравнения (22) и принимая во внимание, что $\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2$, $E_{T1} = h\theta_1$, $E_{T2} = h\theta_2$, $h = 4\sigma T_s^3$,

где T_s - средняя температура термобатарей, находим дифференциальное уравнение для разности температур приемных поверхностей термобатарей

$$\frac{d\Delta\theta}{dt} + \left(\frac{1}{\gamma} + \frac{h}{cm} \right) \Delta\theta = \frac{1}{cm} \left[\frac{\tau}{T} \frac{n_a + n_b}{2} (\delta_1 E_A - \delta_2 E_s) + \right. \quad (24) \\ \left. + \frac{2}{T} (\delta_1 - \delta_2) E_\varphi (n_a + n_b) \right] + [\kappa_1 (E_A + E_s) + 2\kappa_2 E_\varphi] \sin \frac{2\pi}{T} t + \dots$$

Полученное уравнение является линейным дифференциальным уравнением первого порядка. Решение этого уравнения при начальных условиях $t = 0$, $\Delta\theta = 0$ и $t \rightarrow \infty$ может быть представлено в следующем виде

$$\Delta\theta = \frac{\gamma_2}{cm} \frac{\alpha}{T} \frac{n_a + n_b}{2} (\delta_1 E_A - \delta_2 E_B) + \frac{\gamma_2}{cm} \frac{n_a + n_b}{2T} (\delta_1 - \delta_2) E_\varphi + \frac{\gamma_2}{cm\omega} [k_1(E_A + E_B) + 2k_2 E_\varphi] \sin(\omega t - \varphi), \quad (25)$$

где

$$\frac{1}{\gamma_2} = \frac{1}{\gamma} + \frac{h}{cm}, \quad (26)$$

$\omega = \frac{2\pi}{T}$ - угловая скорость вращения фильтра, φ - фазовый угол. При $\delta_1 = \delta_2 = \delta$ формула (25) приобретает следующий вид:

$$\Delta\theta = \frac{\gamma_2}{cm} \frac{\alpha\delta}{T} \frac{n_a + n_b}{2} (E_A + E_B) + \frac{\gamma_2}{cm\omega} [k_1(E_A + E_B) + 2k_2 E_\varphi] \sin(\omega t - \varphi). \quad (27)$$

Анализ выражения (27), а также результатов промежуточных преобразований позволяет сделать следующие выводы.

Разность температур приемных поверхностей термоэлементов, а, следовательно, выходной электрический сигнал (термоэдс) при дифференциальном включении этих термоэлементов содержит постоянную (или медленно меняющуюся) составляющую, пропорциональную балансу длинноволновой радиации ($B_2 = E_A - E_B$).

Из хода решения задачи следует, что влияние собственного излучения вращающегося фильтра при выполнении условия идентичности коэффициентов преобразования приемников, в том числе и коэффициентов поглощения приемных поверхностей (δ_1 и δ_2), может быть исключено либо значительно уменьшено. Такой же вывод можно сделать и в отношении влияния теплового излучения других вращающихся частей прибора. Ясно также, что для исключения влияния излучений от неподвижных элементов конструкции должны быть обеспечены такие условия, чтобы на приемные поверхности попадало излучение только от вращающихся элементов.

Амплитуда первой гармонической составляющей выходного сигнала пропорциональна сумме всех излучений, падающих на обе термобатарей. Ослабление первой, а также и последующих гармоник сигнала зависит от периода вращения обоймы и постоянной времени приемника радиации, т.е. отношения γ_2/ω . Подставив в это отношение значения постоянной времени термоэлемента (характерное значение - $10 \text{ с} / 5$) и периода вращения $0,04 \text{ с}$ (скорость вращения обоймы 1500 об/мин), находим значение ослабления первой гармоники, а именно

$$\frac{\gamma_2}{\omega} = \frac{T}{2\pi \frac{1}{\gamma_2}} = \frac{0,04}{6,28 \cdot 10} = 0,0006$$

Задача решена приближенно, так как было сделано предположение, что меняется среднее значение температуры термоэлемента по всему его объему. На самом же деле максимальная амплитуда будет наблюдаться на приемных поверхностях термоэлементов. С глубиной эти колебания будут затухать, в результате следует ожидать некоторого уменьшения эффекта ослабления гармоник. Это обстоятельство не должно затруднить реализацию рассматриваемого принципа действия балансомера, так как получаемый сигнал в дальнейшем фильтруется с помощью электрических фильтров в электроизмерительном приборе - регистраторе Р (рис.3).

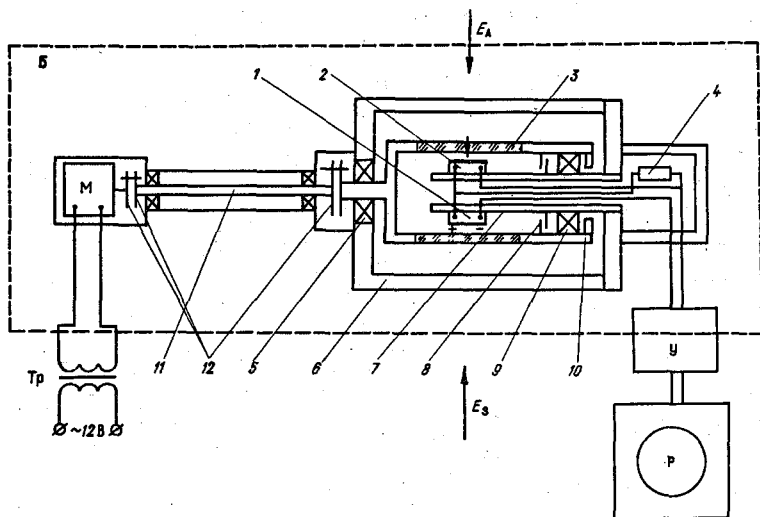


Рис.3. Схема конструкции и электрических соединений балансомера

1, 2 - термоэлектрические приемники излучения МТС-II, 3 - светофильтры из оптической керамики, 4 - регулирующий резистор, 5 - подшипник, 6 - рамка, 7 - консоль, 8 - мембранный сальник, 9 - подшипник, 10 - вращающаяся обойма, 11 - удлиненный вал, 12 - муфты поводковые, Тр - повышающий трансформатор, М - синхронный электродвигатель; У - усилитель ФЭУ, Р - регистратор КСП-2.

Решение, полученное в данной задаче для одного фильтра, распространяется и на конструкции балансомеров, содержащих два и более фильтра.

Следует отметить, что вращение приводит также к выравниванию температуры обоймы и тем самым к уменьшению погрешности, обусловленной ее излучением. Однако, как показано выше, обеспечение условия равномерности не является необходимым.

II. Описание конструкции

Прибор состоит из следующих трех узлов (рис.3): балансомера Б, усилителя У и регистратора Р. В качестве усилителя и регистратора применены изделия, серийно изготавливаемые нашей промышленностью. Данные об их технических и эксплуатационных характеристиках содержатся в соответствующей технической документации.

Балансомер состоит из двух идентичных дифференциально включенных приемников радиации 1 и 2, окрашенных черным, неселективным для длинноволновой радиации покрытием (глубокомаатовой белой эмалью АК-512). В качестве приемников излучения используются термоэлектрические модули МТС-П / 5 / - термопары. Они установлены на массивной латунной консоли 7, закрепленной внутри металлической рамки 6. Консоль 7 является теплопроводящим элементом приемников излучения. Кроме того, в ней размещены провода, с помощью которых снимается напряжение с приемников.

Балансомер снабжен двумя фильтрами (толщина 2 мм) с полосой пропускания 1-30 мкм из оптической керамики типа «Иртран» / 3 /, которая изготавливается из теллурида кадмия горячим прессованием. Она обладает высокой механической прочностью, нерастворима в воде. Для этих целей может быть применен также германий. Фильтры зажаты во вращающейся металлической обойме 10, опирающейся на подшипники 9 и 5. Обойма приводится во вращение с помощью синхронного двигателя М посредством удлиненного вала 11 и муфт 12, что исключает тепловое влияние двигателя на приемники радиации. Герметизация балансомера обеспечивается мембранным сальником 8.

Симметрирование приемников излучения по чувствительности производится с помощью сопротивления 4. Питание электродвигателя осуществляется от сети переменного тока (50 Гц, 12 В) через повышающий трансформатор Тр. Напряжение 12 В выбрано из соображений техники безопасности.

III. Оценка погрешности

Основная трудность определения погрешностей рассматриваемого балансомера состоит в том, что не существует общепринятой пиргеометрической шкалы (радиационной шкалы излучения Земли и атмосферы) / 4 /. В связи с этим расчет основной погрешности балансомера является предварительным и носит оценочный характер. В дальнейшем погрешности должны быть уточнены. Например, необходимы исследования по определению погрешностей, обусловленных несоответствием угловой зависимости коэффициента преобразования балансомера закону косинуса.

Основная погрешность, согласно ГОСТ 8.207-76, может быть оценена с помощью следующих выражений:

$$\theta = 1.1 \sqrt{\theta_{\varepsilon_1}^2 + \theta_{\varepsilon_2}^2 + \theta_{\varepsilon_p}^2 + \theta_{\varepsilon}^2}, \quad (28)$$

$$\theta_{\varepsilon_p} = \sqrt{\theta_{\varepsilon_1}^2 + \theta_{\varepsilon_2}^2 + \left(\frac{E_A}{B_A}\right)^2 \theta_A^2 + \left(\frac{E_3}{B_3}\right)^2 \theta_3^2}, \quad (29)$$

$$B_A = \frac{1}{K} \varepsilon \quad (30)$$

и

$$K = \frac{\varepsilon}{E_A - E_3}, \quad (31)$$

где θ — основная погрешность измерения; θ_{ε_1} , θ_{ε_2} — погрешности измерения напряжения, равные соответственно для усилителя ФТЗ6

$\theta_{\varepsilon_1} = 1\%$ и для КСП-2 $\theta_{\varepsilon_2} = 0,5\%$; θ_{ε_p} — погрешность градуировки балансомера; θ_{ε} — погрешность, обусловленная изменениями коэффициента преобразования за период между поверками, по данным работы / 7 / принимается равной 3% ; θ_A , θ_3 — погрешности измерения пиргеометром длинноволновой нисходящей и восходящей радиации у поверхности Земли, по данным работы / 7 / эти погрешности принимаются равными $\theta_A = \theta_3 = 3\%$; кроме того, $E_A = 0,5 \text{ кВт/м}^2$,

$E_3 = 0,9 \text{ кВт/м}^2$ и $B_A = -0,4 \text{ кВт/м}^2$; θ_{ε} — погрешность, обусловленная разностью чувствительности сторон балансомера, составляет $4\% / 5$; K — коэффициент преобразования, ε — выходное напряжение балансомера.

По формулам (28) и (29) находим: $\theta_{\varepsilon_p} = 7,8\%$ и $\theta = 10,2\%$. Таким образом, можно принять в качестве предела основной погрешности значение 15% , имея в виду еще не учтенную погрешность, обусловленную отклонениями от закона косинуса.

К числу дополнительных погрешностей, которые могут возникать при измерениях с помощью рассматриваемого балансомера, относится погрешность, возникающая за счет влияния коротковолновой солнечной радиации, проникающей через фильтры в спектральном диапазоне $1 - 3 \text{ мкм}$ при измерениях в дневное время при уровнях коротковолновой радиации более $0,02 \text{ кВт/м}^2 / 9$ /. Для уменьшения влияния коротковолновой радиации в балансомере покрытие приемной поверхности тепломеров выполнено белой селективной эмалью, у которой коэффициент отражения в коротковолновой области спектра значительно выше, чем в длинноволновой. Оценка влияния коротковолнового излучения производится, исходя из чувствительности балансомера к солнечной радиации, которую можно найти посредством расчета коэффициентов преобразования приемников радиации для пронизывающего теплового потока, т.е. потока, который проходит непосредственно через тепломер.

Приближенно коэффициент преобразования приемников излучения

балансомера для пронизывающего потока K_n может быть определен по следующей формуле

$$K_n = \frac{K_a}{(1 - \rho_{cp}) \tau_{cp}}, \quad (32)$$

где K_a — коэффициент преобразования, получаемый путем проверки балансомера по пиргеометру; τ_{cp} — коэффициент пропускания фильтра из оптической керамики в диапазоне 3 — 30 мкм (рис.4); ρ_{cp} — коэффициент отражения покрытия в том же диапазоне длин волн.

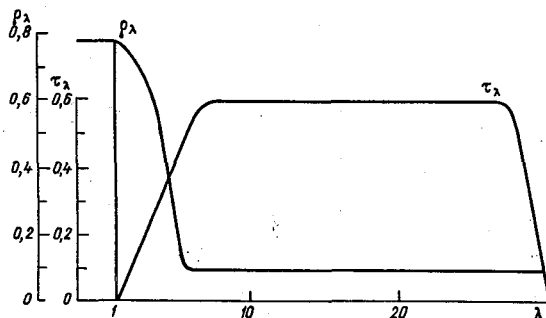


Рис.4. Спектральные коэффициенты отражения белой эмали ρ_λ и оптической керамики τ_λ (толщина 2 мм).

Коэффициент преобразования балансомера по коротковолновому излучению K_k в диапазоне 1 — 3 мкм определяется по формуле:

$$K_k = K_n \frac{\int_{1 \text{ мкм}}^{3 \text{ мкм}} (1 - \rho_\lambda) \tau_\lambda S_\lambda d\lambda}{\int_{1 \text{ мкм}}^{3 \text{ мкм}} S_\lambda d\lambda}, \quad (33)$$

где S_λ — спектральное значение прямой солнечной радиации; остальные обозначения те же, что в (32), но для длины волны λ .

Расчет БДР может быть произведен по формуле

$$B_a = \frac{\epsilon}{K_a} - \frac{K_k}{K_a} \Delta B_k, \quad (34)$$

где ΔB_k — баланс для спектрального интервала 1—3 мкм.

Значение ΔB_k приближенно оценивается с помощью следующих соотношений:

$$\Delta B_k = n B_k, \quad (35)$$

$$n = \frac{\int_{1 \text{ мкм}}^{3 \text{ мкм}} B_{k\lambda} d\lambda}{B_k} \approx \frac{\int_{1 \text{ мкм}}^{3 \text{ мкм}} S_\lambda d\lambda}{S_k}, \quad (36)$$

где B_k и $B_{k\lambda}$ — коротковолновые интегральный и спектральный радиационные балансы. Формула (36) справедлива на том основании, что спектральный состав отраженной и суммарной радиации для снега и зеленой травы, по данным работы / 6 /, примерно одинаков.

По приведенным выше формулам для различных оптических масс атмосферы, оптических плотностей общего содержания водяного пара с использованием таблиц Авесте при расчетном значении $\kappa_n = 7,36$ мВ м²/кВт ($\rho_{\text{ср}} = 0,05$; $\alpha_{\text{ср}} = 0,6$) были оценены чувствительность прибора к коротковолновому излучению и систематическая погрешность, вызываемая этим излучением. Из результатов расчета, представленных в табл.2, вытекают следующие предварительные выводы.

1. Значение расчетного коэффициента преобразования K_k балансомера для коротковолновой радиации в рассматриваемом интервале оптических свойств атмосферы, изменяется до 8 % по отношению к K_k при $\alpha = 0,2$, $\omega = 0,5$ см $m = 1$.

2. Пределы изменения ошибки определения БДР составляют 8,5-2,4 %, что обусловлено увеличением доли инфракрасной радиации с 26 до 44 %.

3. Коэффициент преобразования балансомера следует определять для коротковолновой солнечной радиации в зависимости от высоты Солнца и характеристик прозрачности атмосферы с целью получения соответствующих поправок.

4. Прибор может быть использован при уровнях коротковолновой радиации менее 0,03 кВт/м², как рекомендовано для пиргеометров в / II/.

IV. Полевые испытания

Аппаратура испытывалась на метеостанции в пос.Воейково в ноябре-декабре 1979 г. Балансомер был установлен на метеоплощадке, а регистрирующая аппаратура — в помещении метеостанции. Во время испытаний определялся его коэффициент преобразования и переводный множитель. Это осуществлялось путем прямых сравнений балансомера с пиргеометром Ангстрема № 591, имеющего переводный множитель 5,58 кВт·А²/м².

Проверка была проведена 12 ноября 1979 г. вечером; облачность — 5/0 (тонкие Сi), в зените — ясно, температура воздуха -1,8 °С, почвы -2,7 °С, влажность воздуха 90 %. Пиргеометр устанавливался на площадке на расстоянии 5 м от балансомера. Из II измерений было определено среднее значение длинноволнового радиационного баланса

$B_{\text{ср}} = -0,066$ кВт/м². Исходя из этого значения при одновременном отсчете по ленте самописца был определен переводный множитель -0,0119 кВт/м² на I деление и коэффициент преобразования -4,18 мВ·м²/кВт.

2344

Таблица 2

Результаты вычислений погрешности за счет коротковолновой радиации при различных оптических массах атмосферы, оптических плотностях и общем содержании водяного пара в атмосфере ω / I /

	$\Delta\lambda$, мкм	ϵ_λ	ρ_λ / I_2	$\omega = 0,2$	$\omega = 0,5$ см	$\omega = 0,5$	$\omega = 3,0$ см
				$m=1$	$m=6$	$m=1$	$m=6$
				$S_\lambda d\lambda$	$S_m d\lambda$	$S_\lambda d\lambda$	$S_m d\lambda$
1	1,00-1,25	0,04	0,77	134,2	1,24	102,90	0,95
2	1,25-1,50	0,14	0,74	47,3	1,72	22,90	0,83
3	1,50-1,75	0,20	0,69	42,9	2,65	35,10	2,19
4	1,75-2,00	0,28	0,61	18,4	2,00	12,10	1,32
5	2,00-2,25	0,36	0,52	20,5	3,41	15,40	2,65
6	2,25-2,50	0,44	0,38	6,1	1,68	3,60	0,97
7	2,5-2,75	0,52	0,24	3,1	1,22	1,37	0,54
8	2,75-3,00	0,60	0,05	1,8	1,04	0,80	0,45
$S = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} S_\lambda d\lambda$				274,3		194,04	61,59
$S_\omega = \int_{\omega_{min}}^{\omega_{max}} (1-\rho_\lambda) \epsilon_\lambda S_\lambda d\lambda = \int_{\omega_{min}}^{\omega_{max}} S_m d\omega$				14,96	9,01	9,89	3,21
K_K	$M B \cdot M^2 / K B m$			0,40	0,39	0,37	0,40
S_K	$B m / M^2$			1026	47,3	751	131
n				0,27	0,37	0,26	0,44
B_K	$B m / M^2$			1396	698	1396	243
$\Delta B = \frac{K_K}{K} \Delta B_K$	$B m / M^2$			36	24	32	10
B_2	$B m / M^2$			419	419	419	419
$\frac{\Delta B}{B_2}$	%			8,5	5,7	7,7	2,4

Вторая поверка была проведена 8 декабря 1979 г. при температуре воздуха $-14,2^{\circ}\text{C}$, почвы $-11,0^{\circ}\text{C}$ и влажности воздуха 89 %. При этой поверке были получены те же значения переводного множителя и коэффициента преобразования.

В качестве иллюстрации на рис.5 показаны образцы записи БДР при меняющейся облачности.

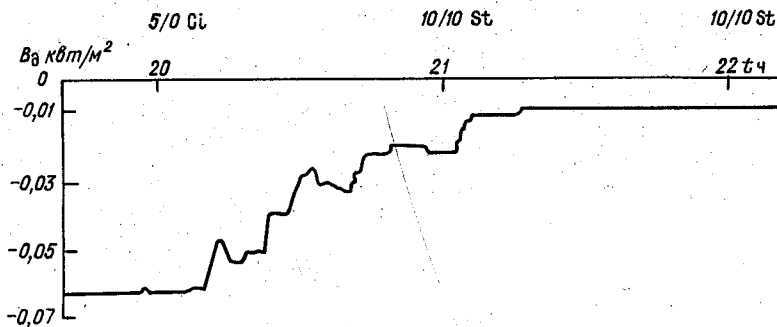


Рис.5. Ход изменений БДР при различной облачности.

Заключение

Теоретический анализ работы балансомера и полевые испытания показали, что существует возможность создания прибора для дистанционных измерений БДР. Необходимым условием для внедрения прибора на сети метеорологических станций является разработка локальной поверочной схемы для области длинноволнового излучения.

Необходимо провести исследование косинусных характеристик прибора. Фильтры обязательно должны выполняться в виде полной сферы; это могут быть сферические мениски, наборы плоских окон, образующих профиль трапеции, треугольника и т.п. Следует рассмотреть возможность применения других типов оптических фильтров (дисперсионных, интерференционных), позволяющих исключить влияние излучения в спектральной области 1-3 мкм.

Список литературы

1. Авасте О., Молдау Х., Шифрин К.С. Спектральное распределение прямой и рассеянной радиации. - В кн.: Исследования по физике атмосферы. Тарту, 1962, вып.3, с.23-71.
2. Броунштейн А.М., Лебедева К.Д., Сивков С.И. Влияние спектральных характеристик приемных поверхностей приборов на точность измерения радиационных потоков. - В кн.: Актинометрия и оптика атмосферы. Таллин: Валгус, 1968, с.218-226.

3. Козелкин В.В., Усольцев И.Ф. Основы инфракрасной техники. М.: Машиностроение, 1974, с.158-176.
4. Коломоец И.П., Халезова Л.Т., Янишевский Ю.Д. К методике измерения длинноволнового земного излучения. В кн.: Радиационные процессы в атмосфере и на земной поверхности. Л.: Гидрометеиздат, 1979, с.86-89.
5. Лебедева К.Д., Сивков С.И., Ястребова Т.К. Результаты исследования термоэлектрических балансомеров Ю.Д.Янишевского. - Труды ГГО, 1965, вып.174, с.62-80.
6. Молдау Х. О спектральной чувствительности пиранометра Янишевского и балансомера Шульца. - В кн.: Исследования по физике атмосферы. Тарту, 1962, вып.3, с.136-149.
7. О комплексе актинометрических приборов на полупроводниковых термopарах / С.И.Зачек, Л.В.Луцко, Д.А.Тайц, Ю.Д.Горбенко. - В кн. Радиационные процессы в атмосфере и на земной поверхности. Л.: Гидрометеиздат, 1979, с.76-80.
8. О сравнимости показаний пиранометров и балансомеров различных типов / К.Д.Лебедева, С.И.Сивков, К.А.Фатеева, Ю.Д.Янишевский, Т.К.Ястребова. - В кн.: Актинометрия и оптика атмосферы. Таллин: Валгус, 1968, с.230-238.
9. Янишевский Ю.Д. Актинометрические приборы и методы наблюдений. - Л.: Гидрометеиздат, 1957, с.327.
10. Drummond A.J., Scholes W.J., Brown J.H., Nelson R.E. A new approach to the measurement of terrestrial long - wave radiation. Technical note N 104, WMO, Geneva, Switriterland, 1970, p.383.
11. Enz J.W. Klink J.G., Baker B.D. Solar radiation effects on pyrgeometer performance. J.Appl. Met., 1975, vol.14, N 7, p.1297-1302.
12. Paltridge G.W. A net long - wave radiometer. Quart. J.R.Net. Soc., vol.95, N 1569, p.635-638.

С.И.Зачек, Л.В.Луцко, В.А.Клеванцова,
Б.Г.Начкебия, Д.А.Тайц, Ю.Д.Горбенко

О РЕЗУЛЬТАТАХ ИСПЫТАНИЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ АКТИНОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Развитие подсистемы сетевых актинометрических наблюдений предусматривает совершенствование инструментального обеспечения, в связи с чем разработаны полуавтоматический компенсационный пиргелиометр ППГ-I и первичные актинометрические преобразователи (ПАП):

актинометр АП-I / 2 /, пиранометр ПП-I / 4 / и балансомер БП-I / 6 /. В качестве чувствительного элемента в новых приборах использован полупроводниковый термоэлектрический преобразователь теплового потока типа МТС-II, созданный в ГСКБ теплофизического приборостроения / 3 /.

Пиргелиометр ППГ-I имеет автоматическую схему компенсации, смонтированную в отдельном блоке вместе с источником питания, подключаемым к сети переменного тока. При измерениях по цифровому вольтметру отсчитывается значение напряжения, а затем после переключения тумблера - значение величины, пропорциональной силе тока. Произведение этих величин представляет собой величину, пропорциональную мощности тока компенсации, нагревающего затененный приемник при облучении другого приемника измеряемой радиацией. Постоянная этого пиргелиометра, выражающая значение величины, пропорциональной электрической мощности замещения (создаваемой током компенсации), которое соответствует единице энергетической освещенности солнечной радиацией, определяется в результате сличения с постоянной образцового пиргелиометра.

Государственным приемочным испытаниям были подвергнуты по 3 опытных образца приборов каждого наименования. У всех типов приборов были экспериментально проверены следующие параметры: сопротивление изоляции, выходное сопротивление, коэффициент преобразования, диапазон измерения, время установления выходного сигнала, основная и дополнительная погрешности, тепло- , холодо- и влагоустойчивость, устойчивость к воздействию транспортной тряски. Помимо указанных параметров, дополнительно определялись: поправочные множители к показаниям пиранометра и балансомера при различных углах падения радиации, изменение коэффициента преобразования балансомера при воздействии ветра, разность коэффициентов преобразования двух сторон балансомера и двух приемников пиргелиометра, переводный множитель и погрешность рассогласования у пиргелиометра.

Все измерения были проведены с использованием аттестованного оборудования. Установка ПО-4, смонтированная на фотометрической скамье типа ФС-М обеспечивала регулируемую энергетическую освещенность до $0,4 \text{ кВт/м}^2$, создаваемую излучением лампы накаливания при стабильности потока $0,1 \%$. Неравномерность освещаемого параллельным пучком поля на площади диаметром 40 мм составляла $0,8 \%$ на 5 мм при диаметре приемных поверхностей испытываемых приборов до 20 мм. Набор нейтральных поглотителей, каждый из которых представляет собой непрозрачный диск с отверстиями, ослабляющий при быстром вращении световой поток в соответствии с площадью вырезанных в нем отверстий / 5 /, имел погрешность значений коэффициентов пропускания не более $0,05 \%$. Образцовый пиргелиометр ОСИ I-го раз-

ряда имел значение среднего квадратического отклонения (СКО) переводного множителя 0,4 %. Образцовый актинометр ОСИ 2-го разряда имел значение СКО коэффициента преобразования 1,0 %. Аэродинамическая труба типа АТ-1 обеспечивала воздушный поток со скоростью до 15 м/с при погрешности 0,5 м/с.

Результаты экспериментальных проверок представлены в табл. I.

Таблица I

Значения коэффициента преобразования K ($\text{мВ м}^2/\text{кВт}$) и переводного множителя K' ($\text{кВт}/\text{м}^2 \cdot \text{В}^2$), полученные по лампе накаливания и по Солнцу, асимметрия сторон (приемников) прибора ΔK , время установления показаний t_y , и выходное сопротивление R

Тип и номер прибора	K	K'	$\Delta K \%$		t _y с	R Ом	Диапазон измерений, кВт/м ²
			По лам- пе на- калива- ния	По Солн- цу			
Пиргелиометр ППП-I							0,3-I, I
№ 01		0,129	0,4	1,8	12	-	
№ 02		0,129	0,5	3,1	15	67	
№ 03		0,127	0,4	3,4	17	-	
Актинометр АП-I							0,04-I, I
№ 01	30,7	-	-	-	30	-	
№ 02	30,6	-	-	-	23	-	
№ 03	31,2	-	-	-	28	18	
Пиранометр ПП-I							0,01-I, 5
№ 01	66,6	-	-	-	24	-	
№ 02	60,9	-	-	-	27	-	
№ 03	62,2	-	-	-	24	82	
Балансомер БП-I							-0,4...+I, I
№ 01	120,4	-	1,4	-	32	104	
№ 02	121,4	-	0,9	-	25	-	
№ 03	119,9	-	0,05	-	35	-	

Коэффициент преобразования ПАП и переводный множитель пиргелиометра определялись на установке ПО-4. Сравнивались показания пиргелиометра и балансомера - с показаниями образцового актинометра типа М-3, пиранометра - с образцовой головкой пиранометра типа М-И15М, актинометра - с образцовым актинометром, имеющим на входе защитное окно, аналогичное окну проверяемого актинометра.

Асимметрия сторон балансомера и приемников пиргелиометра опре-

делялась как разность значений коэффициентов преобразования двух сторон приемников, выраженная в процентах к среднему значению. Асимметрия приемников пиргелиометра определялась двумя способами при отключенном токе компенсации путем измерения сигнала термобатарей каждого приемника отдельно, возникающего под воздействием прямой солнечной радиации (первый способ) и нагрева электрическим током от постороннего источника (второй способ).

Время установления показаний ПАП определялось как время, в течение которого показание ПАП после прекращения освещения достигало значения, отличающегося от нулевого на 1 % для актинометра и пиранометра и на 3 % для балансомера. У пиргелиометра значение этой величины определялось при освещении одного из приемников лампой накаливания и включенной компенсации как время, в течение которого с момента переключения каналов напряжение компенсации достигнет значения, отличающегося от установившегося на 0,5 %.

Проверка диапазона измерений энергетической освещенности совмещалась с проверкой линейности показаний. Для ПАП эта проверка проводилась с использованием нейтральных поглотителей, имеющих коэффициенты пропускания 50, 10 и 3,5 %. При измерениях источником излучения служила лампа накаливания, излучение которой концентрировалось на приемной поверхности испытуемого ПАП и обеспечивало максимальное значение энергетической освещенности около $1,1 \text{ кВт/м}^2$ для актинометра и балансомера и $1,5 \text{ кВт/м}^2$ для пиранометра. Прибор считался соответствующим требованиям технического задания, если погрешность $\delta_{\text{ли}}$ за счет нелинейности не превышала 0,2 % у пиргелиометра и 1 % у всех ПАП. Погрешность $\delta_{\text{ли}}$ определялась по отношению к нормирующему значению энергетической освещенности, равному половине верхнего значения диапазона измерений для соответствующего типа прибора, т.е. измеренному с нейтральным поглотителем, имеющим коэффициент пропускания 50 %.

Проверка диапазона измерения энергетической освещенности для пиргелиометра производилась с включенным блоком компенсации при последовательной подаче от имитатора на нагреватели пиргелиометра мощностей 20,55 и 85 мВт. Каждая из трех мощностей сначала подавалась на нагреватель правого приемника, и измерялась компенсирующая мощность, выделяющаяся на левом приемнике. Затем точно такая же мощность подавалась на нагреватель левого приемника, и измерялась компенсирующая мощность, выделяющаяся на правом приемнике.

Кроме характеристик, указанных в табл.1, была проведена проверка погрешностей, перечень и полученные значения (максимальные из полученных для трех образцов каждого типа прибора) которых приведены в табл.2.

В табл.2 указаны следующие погрешности: δ_r - среднее квадра-

Таблица 2

Значения погрешностей (%) полупроводниковых актинометрических приборов ППГ-I, АП-I, ПП-I, БП-I

Погрешность	ППГ-I	АП-I	ПП-I	БП-I
$\sigma_{гр}$	0,4	1,0	1,2	1,0
θ_{u_1}	0,06	-	-	-
θ_{u_2}	0,06	-	-	-
$\theta_{АН}$	0,2	0,3	0,7	0,3
θ_0	0,06	-	-	-
θ_{τ}	0,45	1,0	3,0	5,0
S	0,4	0,1	0,08	0,1
θ_u	-	0,25	0,25	0,25
$\theta_{сл}$	-	0,7	1,5	3
θ_k	-	-	1,3-1,7	2,2-3,4
θ_A	-	-	-	0,1-2,1
θ_B	-	-	-	0,2-1,4
S_z	0,65	1,53	2,67	4,3
$K_{отн. ед.}$	2,04	1,92	1,9	1,9
Δ	1,33	2,94	5,0	8

тическое отклонение образцового прибора; θ_{u_1} и θ_{u_2} - погрешность измерения напряжения соответственно на заданном сопротивлении и на нагревателях приемников пиргелиометра; $\theta_{АН}$ - неисключенная систематическая погрешность измерения, возникающая за счет нелинейности при изменении энергетической освещенности; θ_0 - погрешность рас-согласования системы автоматической компенсации пиргелиометра;

θ_{τ} - неисключенная систематическая погрешность, обусловленная изменением коэффициента преобразования или переводного множителя за межповерочный интервал; S - среднее квадратическое отклонение серии измерений энергетической освещенности; θ_u - неисключенная систематическая погрешность применяемого измерительного прибора;

$\theta_{сл}$ - неисключенная систематическая погрешность измерения за счет селективности покрытия; θ_k - неисключенная систематическая погрешность пиранометра и балансомера за счет отклонения коэффициента преобразования от закона косинуса; θ_A и θ_B - неисключенная систематическая погрешность измерения балансомера за счет соответственно асимметрии сторон и зависимости коэффициента преобразования от ветрового потока; S_z - суммарное среднее квадратическое отклонение результата измерения; K - коэффициент, обусловленный соотношением случайной и неисключенной систематической погрешности измерения;

Δ - основная погрешность. Значения $\sigma_{гр}$, θ_{u_1} , θ_{u_2} ; θ_u

зависят от образцовых приборов и приборов, с помощью которых осуществлялись измерения.

Проверка значения θ_0 выполнялась следующим образом. От имитатора подавалась постоянная мощность на правый приемник пиргелиометра и при выключенной системе компенсации измерялось напряжение на термобатарее. Затем включалась система компенсации и в момент установления показаний измерялось напряжение на выходе термобатареи. Измерение повторялось при подаче такой же мощности на левый приемник пиргелиометра. Находились средние значения напряжения для левого и правого приемников при постоянной мощности, подаваемой от имитатора, при выключенной и включенной системе компенсации. Напряжение на термобатарее при включенной компенсации, взятое в процентах от значения напряжения на термобатарее при выключенной компенсации, характеризует погрешность рассогласования системы автоматической компенсации.

Значение θ_r определяется стабильностью прибора и продолжительностью межповерочного интервала. Величина S характеризует разброс значений отсчетов при измерениях, т.е. случайную погрешность прибора. Значения θ_{cl} определялись на основании данных о спектральном составе потока излучения I , по которому проводится проверка прибора, спектральном составе измеряемого потока, наиболее отличающемся от условий поверки, а также экспериментальных данных о значениях спектральных коэффициентов пропускания защитных окон и коэффициентов поглощения покрытий приемных поверхностей образцового и поверяемого приборов. Величина θ_{cl} определяет погрешность, вызываемую при наличии селективности приборов изменением спектрального состава измеряемого потока излучения.

Значение θ_{λ} найдено для случая измерения энергетической освещенности от равнояркостного источника по экспериментально полученным характеристикам зависимости коэффициента преобразования ПАП от угла падения потока излучения в пределах от 0 до 95° по четырем азимутальным направлениям от центра приемной поверхности. Значение

θ_{λ} определялось в аэродинамической трубе типа АТ-1 при освещении одной из сторон балансомера лампой накаливания. Измерения проводились методом "солнце-тень" с использованием трехлопного теневого экрана, обеспечивавшего стабильность показаний затененного прибора.

Значение S_z равно корню квадратному из суммы квадратов всех перечисленных составляющих. Значение основной погрешности Δ найдено как произведение значений K и S_z , указанных в табл.2, при значении коэффициента Стьюдента, равном 2,23.

Дополнительная погрешность ПАП оценивалась по изменению коэффициента преобразования в зависимости от температуры окружающего воздуха на основании измерений в термокамере. При этом ПАП помеща-

лись в термокамеру и освещались через окно от внешнего источника лампы накаливания, стабильность которого контролировалась актинометром М-3, установленным также вне камеры. Изменения коэффициента преобразования по отношению к его среднему значению в диапазоне температур от -40°C до $+50^{\circ}\text{C}$ составили: 2 % при $t = +50^{\circ}\text{C}$ и 3 % при $t = -40^{\circ}\text{C}$ для актинометра и пиранометра, 3,5 % при $t = +50^{\circ}\text{C}$ и $t = -40^{\circ}\text{C}$ для балансомера.

Температурный коэффициент переводного множителя пиргелиометра оценивался по температурному коэффициенту манганиновых сопротивлений, входящих в схему прибора, и оказался величиной второго порядка малости.

Характеристики всех испытанных образцов соответствуют требованиям технического задания. Приборы приняты Государственной приемочной комиссией и внесены в Государственный Реестр.

Список литературы

1. Азасте О., Молдау Х., Шифрин К.С. Спектральное распределение прямой и рассеянной радиации. - В кн.: Исследования по физике атмосферы. Тарту, 1962, вып.3, с.23-71.
2. Горбенко Ю.Д., Зачек С.И., Тайц Д.А., Луцко Л.В. Полупроводниковый актинометр АП-I.-См.настоящий сборник.
3. Зачек С.И., Капустин В.Ф., Карпов В.Г. и др. О возможностях создания актинометрических приборов на основе полупроводниковых термоэлементов. - Труды ИГО, 1977, вып.384, с.54-61.
4. Зачек С.И., Тайц Д.А., Горбенко Ю.Д. Полупроводниковый термоэлектрический пиранометр ПП-I.-См.настоящий сборник.
5. Мишин А.А. Экспериментальная проверка линейности пиранометров различного типа. - Труды ИГО, 1977, вып.384, с.92-100.
6. Тайц Д.А., Горбенко Ю.Д., Зачек С.И., Луцко Л.В. Полупроводниковый термоэлектрический балансомер БП-I.-См.настоящий сборник.

С.И.Зачек, Д.А.Тайц,
Ю.Д.Горбенко

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПИРАНОМЕТР ПП-I

Пиранометр ПП-I (черно-белый) предназначен для преобразования энергетической освещенности, обусловленной суммарной, рассеянной или отраженной солнечной радиацией, поступающей из полусферы, в электрический сигнал постоянного тока и служит первичным актинометрическим преобразователем в измерительных и регистрирующих системах

аналогового или цифрового типа. Прибор найдет применение на гидрометеорологических и агрометеорологических станциях, станциях фонового и климатического мониторинга, в биосферных заповедниках, при гелиотехнических и других исследованиях.

Необходимость создания нового прибора вызвана тем, что пиранометры, используемые в настоящее время на гидрометеорологических станциях, обладают рядом эксплуатационных и технологических недостатков / 3 /, что приводит к значительным трудовым затратам при их обслуживании и первичной обработке результатов измерений. Применяемые за рубежом для актинометрических наблюдений термоэлектрические пиранометры Эппли с приемными поверхностями в виде черного и белого концентрических колец / 9 / или чередующихся трех черных и трех белых секторов / 10 /, звездчатые пиранометры Дирмхирна с восемью белыми и черными секторами / 8 / имеют более высокие технические данные. Однако основным недостатком всех используемых термоэлектрических пиранометров является их малый коэффициент преобразования ($7-14 \text{ мВ} \cdot \text{м}^2 / \text{кВт}$), что затрудняет подбор к ним измерительных интегрирующих и регистрирующих приборов.

Пиранометр III-I разработан ГСКБ теплофизического приборостроения и ГГО. Показатели назначения пиранометра приведены в таблице.

Таблица

Показатели назначения III-I

Технические данные и характеристики	Допускаемое значение	
Диапазон преобразования энергетической освещенности, $\text{кВт}/\text{м}^2$	0,01-1,5	
Интегральный коэффициент преобразования при нормальных условиях, температуре $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, в диапазоне длин волн $0,3-3 \text{ мкм}$, $\text{мВ} \cdot \text{м}^2 / \text{кВт}$	Не менее 60	
Время установления выходного сигнала, с	Не более 60	
Выходное сопротивление при нормальных условиях, температуре $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, Ом	Не более 100	
Угол зрения, градусы	180	
Предел приведенной допускаемой основной погрешности преобразования энергетической освещенности, %	6	
Поправочные множители F_h для приведения результатов измерения энергетической освещенности к закону косинуса при различных углах возвышения Солнца h :	h°	F_h
	5	$1 \pm 0,35$
	10-20	$1 \pm 0,10$
	30-70	$1 \pm 0,02$
	90	$1 \pm 0,0$

продолж. табл.

Технические данные и характеристики	Допускаемое значение
Дополнительная погрешность, обусловленная изменением коэффициента преобразования в зависимости от температуры, %	Не более 3 для $t = -40...0\text{ }^{\circ}\text{C}$; не более 2 для $t = 0...+50\text{ }^{\circ}\text{C}$
Электрическое сопротивление изоляции, МОм	Не менее 0,5
Наработка на отказ, ч	Не менее 5000
Средний срок службы, лет	Не менее 10
Масса пиранометра, кг	Не более 2,5
Диапазон рабочих температур, $^{\circ}\text{C}$	$-40...+50$

Принцип действия пиранометра основан на явлении преобразования энергетической освещенности в тепло, которое имеет место при поглощении измеряемого излучения приемной площадкой термочувствительного элемента, причем мерой энергетической освещенности служит квазистационарное значение разности температур между приемной площадкой и окружающей средой, что достигается при равенстве измеряемого излучения и тепловых потерь этой площадки / 5 /.

В рассматриваемом пиранометре указанный принцип реализован с помощью группы термоэлектрических батарей (тепломеров), у которых «холодные» спаи присоединены к корпусу прибора, а «горячие» образуют плоскую приемную площадку, окрашенную в черный и белый цвета чередующимися квадратами. Термоэлементы, находящиеся под черными квадратами, соединены встречно-последовательно с термоэлементами, находящимися под белыми квадратами. Черные квадраты под действием измеряемого излучения разогреваются больше, чем белые; возникающая термоэдс при малых разностях температур между приемной поверхностью и корпусом (окружающей средой) оказывается пропорциональной измеряемой энергетической освещенности.

Пиранометр состоит из головки пиранометра (тепловой блок) и поворотного столика. Поворотный столик содержит устройство, позволяющее опрокидывать головку пиранометра приемной поверхностью вниз для измерения отраженной радиации, а также экран для затенения пиранометра при измерениях рассеянной радиации. Конструкция столика выполнена в основном аналогично штативу сетевого пиранометра / 6 /. В комплект пиранометра включен защитный экран в виде диска, который устанавливается на столике так, что его плоскость совпадает с плоскостью приемной поверхности пиранометра, позволяя уменьшить и стабилизировать засветку стеклянных колпаков пиранометра.

Конструкция головки пиранометра представлена на рис. I. Основным элементом головки является приемник излучения. Он состоит из

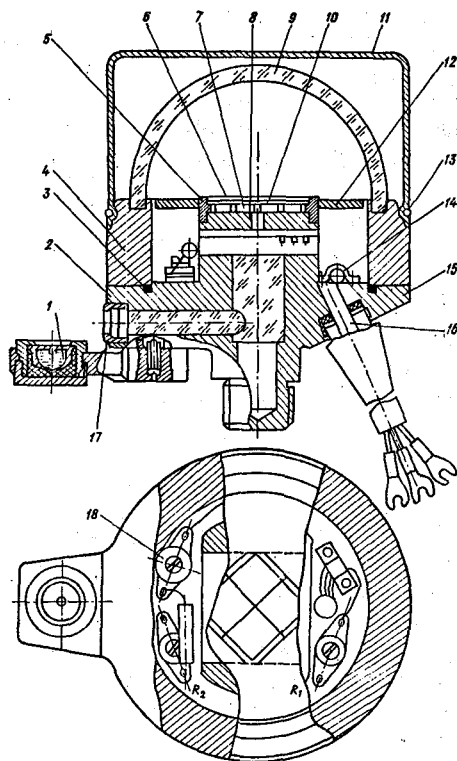


Рис. I. Пирометр III-I.

I - уровень, 2 - силикагель, 3 - резиновая прокладка, 4 - кольцо, 5, 17 - рамки, 6 - приемная поверхность, 7 - модули МТС-П, 8 - основание-теплоотвод, 9 - колпак (стекло БС-3), 10 - слюдяная прокладка, 11 - крышка, 12 - диафрагма, 13 - пружинный фиксатор крышки, 14 - скоба для закрепления монтажных проводов, 15 - корпус, 16 - кабель с сальниковым уплотнением, 18 - монтажные стойки, 19 - винты, R_1 и R_2 - резисторы температурной компенсации и симметрирования.

шестнадцати модулей (термоэлектрических батарей) 7 типа МТС-П / 6 /, приклеенных "холодными" спаями к оксидированному металлическому основанию-тепловоду 8 из алюминиевого сплава, в выемке которого осуществлена коммутация модулей. Модули размещены таким образом, что образуют квадрат. К их "горячим" спаям приклеена тонкая слюдяная пластинка 10 (около 20 мкм), опирающаяся на внутренний выступ выреза металлической рамки 5, к которой она также приклеивается. Верхняя внутренняя часть рамки и слюдяная пластинка образуют квадратную впадину с нормированной глубиной (0,2 мм). Эта впадина заполняется оптической диффузноотражающей краской 6 на основе магнетита. При изготовлении приемника заполнение впадины рамки осуществляется с положительным припуском. Необходимая толщина покрытия достигается за счет шлифования до уровня базовой поверхности приемника излучения. Конструкция такого типа позволяет обеспечить высокую степень плоскостности приемной поверхности, исключить боковую засветку приемника.

Подготовленная указанным способом приемная поверхность окрашивается черной пиранометрической краской по квадратам в шахматном порядке. Кроме того, черные квадраты для улучшения диффузности покрываются дополнительно слоем лакированной сажи. Всего на приемной поверхности имеется два черных и два белых поля. Под каждым из полей размещено по четыре модуля. Размер приемной поверхности 25х25 мм.

Приемник излучения устанавливается на корпусе 15. Для обеспечения хорошего теплового контакта приемника 8 в целом и его рамки 5 при сборке используется теплопроводная паста КПТ-8. К корпусу подсоединен кабель 16 с сальниковым уплотнением; уровень I служит для горизонтальной установки прибора. Для измерения отраженной радиации предусмотрена возможность поворота пиранометра на 180°.

Внутри корпуса имеется камера 2 для засыпки гранулированного силикагеля с целью осушения внутренней полости пиранометра. Контроль состояния силикагеля производится визуально через смотровое окно, укрепленное в рамке 17. Засыпка этого осушителя или его смена производятся при снятой рамке.

Рядом с приемником излучения в корпусе размещены монтажные стойки 18, на которых установлены резисторы R_1 и R_2 и к которым подпаяны концы выводного кабеля. Предусмотрена возможность наружной установки резисторов, когда в качестве измерительного прибора необходимо использовать микроамперметр. Для исключения влияния нагрева солнечной радиацией элементов электрической схемы и боковой поверхности приемника примерно на уровне приемной поверхности установлена плоская диафрагма 12.

В рассматриваемом пиранометре с целью уменьшения погрешности, обусловленной отклонением угловой зависимости коэффициента преобра-

зования от высоты Солнца, применен полусферический колпак 9 из оптического стекла БС-3, изготовленный методом шлифования и полировки. Указанное стекло обеспечивает также выделение солнечной радиации в требуемом спектральном интервале 0,3-3 мкм. Диаметр колпака (наружный) 83 мм; его установка на корпусе пиранометра осуществляется с помощью кольца 4 и винтов 19. Герметизация стыка кольца и корпуса обеспечивается с помощью резиновой прокладки 3. Стекланный колпак установлен в кольце с использованием эластичной герметичной замазки УТ-32.

Корпус головки пиранометра снабжен резьбовым хвостиком (резьба М22) для закрепления в поворотном столике, а также в актинометрических установках, применяемых в настоящее время на гидрометеорологических станциях.

Главной особенностью пиранометра является наличие параметрической компенсации изменений коэффициента преобразования, обусловленных температурой окружающей среды. Обоснование схемы температурной компенсации в работах / 2,4 /.

Представляется интересным указать еще на одно свойство электрической схемы пиранометра, обусловленное его оптическими характеристиками. Это свойство связано с реакцией прибора на длинноволновое излучение (тепловое), источником которого является корпус и полусферический стекланный колпак, а также возможные небольшие различия коэффициентов поглощения белой и черной краски в области теплового излучения. В пиранометрах, выпускаемых нашей промышленностью, регулирование коэффициента преобразования для длинноволнового излучения производится изменением коэффициентов поглощения белой и черной краски путем нанесения на нее парафина, растворенного в бензине. Однако такой способ может ухудшить косинусную характеристику за счет нарушения диффузности краски. В проведенных экспериментах с ПП-I не было обнаружено существенного влияния теплового излучения стеклannого колпака при его температурах 75-90 °С, что, видимо, связано с правильно выбранной технологией нанесения оптического покрытия. Систематическая погрешность не превышала 0,5 %.

Однако, учитывая то, что при серийном производстве могут иметь место некоторые отклонения в технологии нанесения красок, при конструировании прибора была предусмотрена возможность небольшой регулировки коэффициента преобразования черных или белых частей приемника излучения. Это может быть достигнуто путем шунтирования "черных" или "белых" групп модулей с помощью резистора R. Опуская промежуточные выкладки, можно написать следующее выражение для выходного напряжения U ПП-I при наличии шунтирующего резистора R :

$$U \sim (\bar{\alpha}_{чк} - n\bar{\alpha}_{бк})Q + (\bar{\alpha}_{чг} - n\bar{\alpha}_{бг})E_T, \quad (I)$$

где Q - суммарная коротковолновая энергетическая освещенность, E_T - тепловое излучение, $\bar{\alpha}_{чк}$, $\bar{\alpha}_{чб}$ - средние коэффициенты поглощения черной краски соответственно в коротковолновой (0,3-3,0 мкм) и длинноволновой (> 3,0 мкм) областях спектра, $\bar{\alpha}_{бк}$, $\bar{\alpha}_{бб}$ - средние коэффициенты поглощения белой краски в тех же областях спектра, n - коэффициент, определяемый формулой:

$$n = \frac{R}{R + R'_8} \quad (2)$$

В этой формуле R'_8 - внутреннее сопротивление "белой" или "черной" части приемника.

Из (1) вытекает следующее условие компенсации:

$$\bar{\alpha}_{чб} - n\bar{\alpha}_{бб} = (\bar{\alpha}_{бк} - \bar{\alpha}_{чк}) \quad (3)$$

В случае, если $\bar{\alpha}_{бк} < \bar{\alpha}_{чк}$, то в соотношении (3) коэффициент n ставится перед $\bar{\alpha}_{чб}$. Задаваясь в качестве примера характерными значениями $\bar{\alpha}_{бк} = 0,90$; $\bar{\alpha}_{чк} = 0,96 / 9 /$; $R'_8 = 68 \text{ Ом} / 6 /$, находим $R = 1065 \text{ Ом}$.

Пиранометр ПП-1 может использоваться с регистраторами типа КСП-4, цифровыми вольтметрами типа В7-21, стрелочными микроамперметрами типа М1692 и другими приборами или измерительными системами с аналогичными характеристиками. Подключение ПП-1 к измерительным приборам типа КСП-4 или цифровым вольтметрам с входным эффективным сопротивлением, существенно превышающим его выходное сопротивление, не представляет никаких трудностей, так как эти приборы не нарушают режима температурной компенсации, имеющей место при заданном нагрузочном сопротивлении. Требуется только согласование заданного предела преобразования ПП-1 с пределом измерения КСП-4 или цифрового вольтметра.

Использование пиранометра со стрелочным микроамперметром вызывает необходимость согласования как внутренних сопротивлений этих приборов, являющихся сопоставимыми, так и пределов измерения и преобразования. Схема соединения ПП-1 и микроамперметра показана на рис.2. Выбор сопротивлений производится по следующим формулам:

$$R_{ш} = \frac{R_1 (R_{нр} + R_g)}{R_{нр} + R_g - R_1} \quad (4)$$

$$R_g = \frac{U_m}{I_m} - R_{нр} \quad (5)$$

где U_m - предельное значение выходного напряжения, соответствующего максимальной энергетической освещенности, I_m - предельное значение тока микроамперметра, R_g - сопротивление нагрузки, соответствующее условию температурной компенсации. Если исходные па-

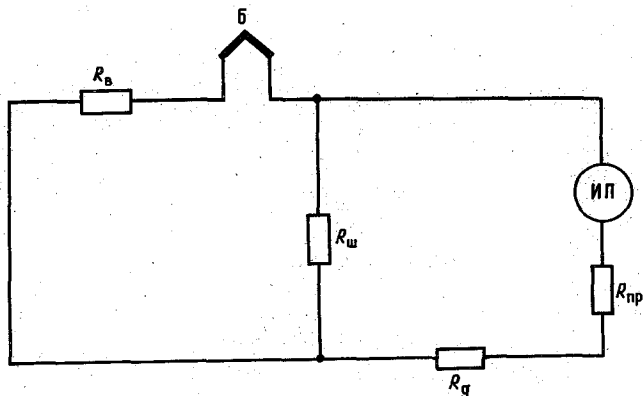


Рис.2. Электрическая схема соединения ШИ-1 и микроамперметра.

ИП - микроамперметр М 1692 (класс 0,5); $R_{\text{в}}$ - внутреннее сопротивление термобатареи; Б - термобатарея; $R_{\text{ш}}$ - резистор шунтирующий, 327 Ом; $R_{\text{г}}$ - добавочное сопротивление, 420 Ом; $R_{\text{пр}}$ - сопротивление микроамперметра М 1692, 480 Ом; $R_{\text{с}}$ - внутреннее сопротивление термобатареи, 136 Ом.

параметры схемы $I_m = 100 \text{ мкА}$ и $R_{\text{пр}} = 480 \text{ Ом}$ (для М 1692), $U_m = 90 \text{ мВ}$ и $R_{\text{с}} = 240 \text{ Ом}$ (пределы измерения и условия температурной компенсации), то $R_m = 327 \text{ Ом}$, а $R_{\text{г}} = 420 \text{ Ом}$.

Расчет энергетической освещенности производится по формуле

$$Q = \frac{R_{\text{г}} + R_{\text{пр}}}{K} I \cdot 10^3, \quad (6)$$

где Q - суммарная радиация, кВт/м²; K - коэффициент преобразования, мВ·м²/кВт; I - ток через микроамперметр, мкА.

Аналогично можно рассчитать элементы схем интегрирования, состоящих из ШИ-1 и электролитических интеграторов Х-603, Х-606 и Х-607. Применение пиранометра ШИ-1, обладающего значительным коэффициентом преобразования, существенно улучшает режим работы этих интеграторов (уменьшается влияние самохода) особенно при малых уровнях энергетической освещенности.

Работа ШИ-1 с микроамперметрами рассматривалась при эквивалентных сопротивлениях нагрузки, обеспечивающих условие температурной компенсации главным образом самого пиранометра. Что же касается температурной зависимости самих измерительных приборов, то она при принятом значении эквивалентного нагрузочного сопротивления не компенсируется. Учет этой зависимости может быть осуществлен путем введения поправок в соответствии с существующими методиками / 10 /

либо параметрическими методами. В последнем случае это может быть достигнуто регулировкой шунтирующего сопротивления, позволяющего изменить по величине и знаку значение эффективного температурного коэффициента пиранометра / 7 /. Следует отметить, что мощность, развиваемая ПП-1, позволяет использовать микроамперметры класса 0,5 и 1,0.

В 1981 г. три опытных образца рассмотренного пиранометра были подвергнуты Государственным приемочным испытаниям и рекомендованы для серийного производства.

Список литературы

1. Броунштейн А.М., Козырев Б.П., Лебедева К.Д., Сивков С.И. Некоторые результаты исследования спектральных характеристик черных и белых покрытий, применяемых для приемочных поверхностей актинометрических приборов. - Труды ГГО, 1968, вып.213, с.3-12.

2. Зачек С.И. О температурной зависимости полупроводниковых приемников излучения. Тезисы докладов XI Всесоюзного совещания по актинометрии. Ч.2. Таллин, 1980, с.89-91.

3. Зачек С.И., Луцко Л.В., Тайц Д.А., Горбенко Ю.Д. О комплексе актинометрических приборов на полупроводниковых термодарах. Материалы X Всесоюзного совещания по актинометрии.-Л.: Гидрометеоздат, 1979, с.76-80.

4. Зачек С.И., Горбенко Ю.Д., Тайц Д.А., Луцко Л.В. Методика расчета электрических схем температурной компенсации приемников излучения, выполненных на полупроводниковых термоэлектрических элементах. - Труды ГГО, 1980, вып.419, с.79-88.

5. Прецизионные радиационные измерения в метеорологии/ Перев. с англ. Под ред.К.Я.Кондратьева, Л.Б.Красильщикова. Л.: Гидрометеоздат, 1972, с.60.

6. Руководство гидрометеорологических станциями по актинометрическим наблюдениям. - Л.: Гидрометеоздат, 1971, с.19, 65-67.

7. Теплофизические приборы и комплекты лабораторий. Каталог на рус. и нем. яз. Внешторгиздат. Изд. № 10-4018, 1981, с.20.

8. Phillip Schenk, p.1 3/1 (каталог).

9. Science Associates, p.84 (каталог 8).

10. Weather Measure, Corp., p.101-102 (каталог 772).

НЕКОТОРЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ЛИДАРНОМ ИЗМЕРЕНИИ ПОКАЗАТЕЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

В работе / 1 / показано существенное влияние инструментальных погрешностей на точность лидарного определения прозрачности атмосферы. Рассмотрим возможный вариант оценки погрешностей измерения показателя ослабления, обусловленных сдвигами уровня отсчета амплитуд сигналов обратного рассеяния для конкретного лидара. Упомянутые сдвиги могут быть вызваны аппаратными шумами, наводками и т.п.

Пренебрегая эффектом многократного рассеяния, уравнение лазерной локации для однородной атмосферы при наличии сдвига ΔP^* можно записать в виде

$$P(z) = Aq(z)z^{-2}\tau(\pi)\exp(-2\mu'z) + \Delta P^*, \quad (1)$$

где $P(z)$ — амплитуда сигнала обратного рассеяния с расстояния z ; A — постоянная локатора; $\tau(\pi)$ — показатель рассеяния атмосферы в обратном направлении; $q(z)$ — геометрический фактор лидара, определяемый степенью перекрытия полей зрения приемника и передатчика лидара (в зоне частичного перекрытия $0 < q(z) < 1$, в зоне полного перекрытия $q(z) = 1$); μ' — натуральный показатель ослабления атмосферы.

Поскольку сдвиг уровня отсчета ΔP^* обусловлен аппаратными шумами и наводками, то можно предположить, что он меняется случайным образом от одной посылки зондирующего импульса к другой. Вследствие этого для оценки погрешности определения μ' , обусловленной сдвигами ΔP^* , необходимо знать функцию распределения плотности вероятности величины ΔP^* . Предварительно покажем, как найти ΔP^* для одиночного сигнала обратного рассеяния, полученного при зондировании атмосферы в горизонтальном направлении.

Пусть существует z_0 , такое, что при $z \geq z_0$ геометрический фактор $q(z) = 1$. Тогда, согласно (1), имеем

$$P(z) = Bf(z) + \Delta P^*, \quad (2)$$

где $B = A\tau(\pi)$, $f(z) = z^{-2}\exp(-2\mu'z)$. Натуральный показатель ослабления μ' должен определяться независимым способом, например, посредством синхронных измерений прозрачности атмосферы базисными приборами.

Графиком зависимости $P(z)$ от $f(z)$ при $z \geq z_0$ будет прямая линия, пересечение которой с осью $P(z)$ даст величину ΔP^* . Более точно ΔP^* можно найти, воспользовавшись методом наименьших квадратов. Поскольку точность определения ΔP^* будет увеличиваться с ростом протяженности участка трассы при $z \geq z_0$ и относительного

вклада ΔP^* в сигнал обратного рассеяния, то желательно находить ΔP^* по сигналам обратного рассеяния, полученным в условиях высокой прозрачности атмосферы. Предполагается, что требование однородности в этом случае выполняется лучше, чем при плохой прозрачности атмосферы.

В качестве примера покажем, как находилась функция распределения величины ΔP^* для лидара, описываемого в работе / 2 /. Было взято 149 осциллограмм сигналов обратного рассеяния при $\mu' < 1 \text{ км}^{-1}$. Для каждой осциллограммы с помощью метода наименьших квадратов определялся сдвиг уровня отсчета ΔP_k^* ($k = 1, 2, \dots, M$; $M = 149$). С помощью критерия χ^2 проверялась гипотеза о нормальности распределения величины ΔP^* / 3 /. При этом предполагалось, что распределение имеет следующие параметры:

$$\overline{\Delta P^*} = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M \Delta P_k^*, \quad (3)$$

$$\sigma(\Delta P^*) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^M (\Delta P_k^* - \overline{\Delta P^*})^2}{M-1}}, \quad (4)$$

где $\sigma(\Delta P^*)$ - среднее квадратическое отклонение. Для исследуемого лидара имеем в относительных единицах: $\overline{\Delta P^*} = 1,25$; $\sigma(\Delta P^*) = 2,43$. Весь диапазон ΔP^* был разбит на 8 интервалов. В табл. I представлены в относительных единицах границы интервалов и количество значений ΔP^* в каждом из этих интервалов (теоретическое m_i и экспериментальное m_i^*).

Таблица I

Количество значений ΔP^* в интервалах ΔP^*

Интервалы ΔP^*	m_i	m_i^*
	Теоретическое	Экспериментальное
-6,4...-4,8	0,8	I
-4,8...-3,2	4	6
-3,2...-1,6	13	12
-1,6...-0	27,4	23
0 ... 1,6	37,9	44
1,6... 3,2	34,1	32
3,2... 4,8	20,8	21
4,8... 6,4	8,2	8

Теоретическое количество значений ΔP^* , попадающих в интервалы, определялось в виде произведения теоретической вероятности по-

падания в интервал на общее количество реализаций M величины ΔP^* . Для нахождения теоретической вероятности попадания в интервалы использовалось нормальное распределение с параметрами ΔP^* и $G(\Delta P^*)$.

Согласно / 3 /, имеем

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^8 \frac{(m_i - m_i^*)^2}{m_i} \quad (5)$$

В рассматриваемом случае $\chi^2 = 2,95$. Тогда при количестве степеней свободы $\nu = 5$ получим $p = 0,7 / 3$, т.е. гипотеза о нормальности распределения величины ΔP^* не противоречит экспериментальным данным. При доверительной вероятности $p = 0,95$ имеем симметричные доверительные интервалы для ΔP^* и $G(\Delta P^*)$: $\Delta P^* = 1,25 \pm 0,40$; $G(\Delta P^*) = 5,92 \pm 0,86$.

Учитывая нормальность распределения величины ΔP^* , погрешность определения μ' , обусловленную случайной составляющей сдвига уровня отсчета, можно выразить в виде

$$\Delta \mu' = 0,5 \left| \mu' \left[P(z) - \overline{\Delta P^*} - \frac{G(\Delta P^*)}{\sqrt{N}} \right] - \mu' \left[P(z) - \overline{\Delta P^*} + \frac{G(\Delta P^*)}{\sqrt{N}} \right] \right|, \quad (6)$$

где N - количество сигналов обратного рассеяния в серии; $P(z)$ - осредненный по серии сигнал обратного рассеяния.

Кроме того, существует погрешность $\Delta(\mu')^*$, связанная с погрешностью определения систематической составляющей сдвига уровня отсчета ΔP^*

$$G(\overline{\Delta P^*}) = \frac{G(\Delta P^*)}{\sqrt{M}}, \quad (7)$$

где M - количество сигналов обратного рассеяния, используемое для нахождения $\overline{\Delta P^*}$. Погрешность $\Delta(\mu')^*$ можно определить по формуле (6), приняв $N=M$. Воспользовавшись линейным приближением, имеем

$$\Delta(\mu')^* = \sqrt{\frac{N}{M}} \cdot \Delta \mu' \quad (8)$$

В табл.2 представлены величины $\Delta \mu'$ и $\Delta(\mu')^*$ для исследуемого лидара, причем для обработки использовался метод наименьших квадратов / 2 /. Величины μ' определялись посредством синхронных наблюдений за прозрачностью атмосферы с помощью базисного прибора М-37 с базой 960 м. Значения μ' , помеченные звездочкой, получены посредством визуальных наблюдений за метеорологической дальностью видимости.

Из табл.2 следует, что влияние сдвига уровня отсчета на точность лидарного определения прозрачности атмосферы наиболее существенно при высокой прозрачности атмосферы. Погрешность $\Delta(\mu')^*$, обусловленная неточностью определения систематической составляющей

Таблица 2
Погрешности измерения показателя ослабления атмосферы,
обусловленные сдвигами уровня отсчета сигналов
обратного рассеяния

Количество сигналов в серии	μ' $\text{м}^{-1} \cdot 10^3$	$\Delta \mu'$ $\text{м}^{-1} \cdot 10^3$	$\frac{\Delta \mu'}{\mu'} \cdot 100\%$	$\Delta (\mu')^*$ $\text{м}^{-1} \cdot 10^3$
10	0,15*	0,17	113	0,04
6	0,15*	0,14	93	0,03
9	0,15*	0,11	73	0,03
10	0,15*	0,05	33	0,01
10	0,15* - 0,2*	0,03	17	0,01
10	0,15* - 0,2*	0,09	51	0,02
10	0,30	0,05	17	0,01
5	0,31	0,11	35	0,02
6	0,48	0,07	15	0,02
10	0,54	0,06	11	0,02
10	0,63	0,12	19	0,03
6	0,76	0,07	9	0,02
9	0,81	0,07	9	0,02
8	0,93	0,05	5	0,01
8	1,02	0,26	25	0,06
11	1,19	0,28	24	0,08
9	1,23	0,12	10	0,03
11	1,28	0,04	3	0,01
9	1,34	0,05	4	0,01
11	2,13	0,15	7	0,04
4	2,64	0,09	3	0,02
4	3,37	0,13	4	0,02
8	3* - 6*	0,23	5	0,05
5	6*	0,21	4	0,05
12	15*	0,46	3	0,13
10	15*	0,36	2	0,09

сдвига $\overline{\Delta R^*}$, значительно меньше, чем погрешность $\Delta \mu'$, обусловленная случайной составляющей сдвига ΔR^* . Если величину $\overline{\Delta R^*}$ не вычитать из сигналов обратного рассеяния, то это приведет к систематической ошибке в определении μ' , сравнимой с $\Delta \mu'$, причем увеличение количества сигналов в серии не приведет к уменьшению упомянутой ошибки. Влияние же случайной составляющей сдвига ΔR^* на точность лидарного определения прозрачности атмосферы можно

уменьшить, увеличив количество сигналов в серии. Таким образом, предложен вариант оценки и учета влияния сдвигов уровня отсчета сигналов обратного рассеяния на точность лидарного определения прозрачности атмосферы.

Изложенная методика может быть использована при проверке аппаратуры, применяемой в экспериментах по лидарному зондированию атмосферы, а также при определении по сигналам обратного рассеяния геометрического фактора лидара.

Список литературы

1. Игнатенко В.М., Ковалев В.А., Рыбаков Е.Е. Влияние инструментальных погрешностей на точность лидарного определения прозрачности атмосферы. - Труды ГГО, 1980, вып.419, с.89-99.

2. Игнатенко В.М., Ковалев В.А. Оценка случайных погрешностей при лидарном измерении показателя ослабления атмосферы. - См. наст. сб.

3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. - М.: Наука, 1964, с.149-158.

В.М.Игнатенко, В.А.Ковалев

ОЦЕНКА СЛУЧАЙНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ ЛИДАРНОМ ИЗМЕРЕНИИ ПОКАЗАТЕЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

При определении прозрачности атмосферы по данным лидарного зондирования в горизонтальных направлениях обычно полагают, что атмосфера на трассе зондирования однородна. Тогда в приближении однократного рассеяния уравнение лазерной локации можно записать

$$P(z) = Aq(z)z^{-2}\gamma(\pi)\exp(-2\mu'z), \quad (I)$$

где $P(z)$ - амплитуда сигнала обратного рассеяния с расстояния z от лидара, A - постоянная локатора, $\gamma(\pi)$ - показатель направленного рассеяния под углом 180° к направлению падающего света, μ' - натуральный показатель ослабления, $q(z)$ - геометрический фактор лидара.

Используя данные независимых измерений показателя ослабления μ' с помощью базисных приборов, величину $q(z)$ можно найти экспериментально с точностью до постоянного множителя из соотношения (I) / 2,3 /. Для этого желательно использовать сигналы обратного рассеяния, полученные посредством зондирования в горизонтальных направлениях при высокой прозрачности атмосферы. При расчетах геометрического фактора $q(z)$ целесообразно использовать серии

предварительно осредненных сигналов обратного рассеяния, поскольку одиночные сигналы всегда искажены случайными флуктуациями прозрачности атмосферы на трассе зондирования, а также шумами и наводками регистрирующей аппаратуры.

Покажем, как оценить по реальным сигналам $P(z)$, полученным при зондировании в горизонтальных направлениях, случайные погрешности в определении μ' . Зная ход $q(z)$, имеем

$$y(z) = B - 2\mu'z, \quad (2)$$

где

$$y(z) = \ln \left[\frac{P(z) z^2}{q(z)} \right], \quad B = A \gamma(\pi).$$

При наличии протяженного линейного участка $y(z)$ величины B и μ' можно найти по методу наименьших квадратов из условия минимума выражения

$$F = \sum_{i=1}^M \frac{[y(z_i) - B + 2\mu'z_i]^2}{G_i^2}, \quad (3)$$

где G_i^2 — весовые множители, характеризующие дисперсии величин $y(z_i)$, M — количество дискретных отсчетов сигнала на линейном участке $y(z)$. При условии постоянства весовых множителей ($G_i = \text{const}$), согласно / 4 /, имеем

$$\mu' = \frac{\left(\sum_{i=1}^M z_i\right)\left(\sum_{i=1}^M y_i\right) - M \left(\sum_{i=1}^M z_i y_i\right)}{2\varepsilon}, \quad (4)$$

$$(\Delta\mu'_M)^2 = \frac{M \sum_{i=1}^M (y_i + 2\mu'z_i - B)^2}{4\varepsilon(M-1)}, \quad (5)$$

$$B = \frac{\left(\sum_{i=1}^M z_i^2\right)\left(\sum_{i=1}^M y_i\right) - \left(\sum_{i=1}^M z_i\right)\left(\sum_{i=1}^M z_i y_i\right)}{\varepsilon}, \quad (6)$$

$$\varepsilon = M \left(\sum_{i=1}^M z_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^M z_i\right)^2. \quad (7)$$

Из приведенных соотношений (5,7) следует, что погрешность $\Delta\mu'_M$ пропорциональна среднему квадратическому отклонению величины

$y_i = y(z_i)$ от прямой линии $-2\mu'z_i + B$, проведенной с использованием метода наименьших квадратов на выбранном для обработки

участке $\Delta z = z_m - z_1$. Разброс точек функции $y(z_i)$ относительно упомянутой прямой обусловлен неточностью определения амплитуд сигналов обратного рассеяния, случайной составляющей погрешности вычисления $q(z)$ и мелкомасштабными неоднородностями атмосферы. Величину $\Delta \mu'_m$ можно использовать, таким образом, как критерий линейности функции

$$y(z) = \ln \left[\frac{P(z) z^2}{q(z)} \right].$$

Кроме погрешности, обусловленной разбросом точек $y(z_i)$ относительно аппроксимирующей прямой $y = -2\mu'z + B$, существует погрешность, обусловленная наличием крупномасштабных неоднородностей в атмосфере и сдвигами уровня отсчета сигналов обратного рассеяния ΔP^* из-за аппаратных шумов и наводок. Покажем, как оценить эту погрешность. Пусть используется серия из N сигналов обратного рассеяния. Тогда погрешность определения μ' по одиночному сигналу из этой серии можно оценить так:

$$\Delta \mu'_{ea} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (\mu'_k - \bar{\mu}')^2}{N-1}}, \quad (8)$$

где $\bar{\mu}' = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \mu'_k$; μ'_k вычисляется по методу наименьших квадратов для k -го сигнала на участке Δz .

Если определять μ' , используя осредненный по серии сигнал обратного рассеяния, то погрешность будет существенно меньше:

$$\Delta \mu'_N = \frac{\Delta \mu'_{ea}}{\sqrt{N}}. \quad (9)$$

Величины $\Delta \mu'_{ea}$ и $\Delta \mu'_N$ характеризуют устойчивость параметров атмосферы и аппаратуры в течение времени регистрации серии сигналов обратного рассеяния.

Учитывая наличие упомянутых выше погрешностей, целесообразно обрабатывать экспериментальные данные, полученные при зондировании атмосферы в горизонтальных направлениях, следующим образом.

1. По одиночным сигналам из серии, полученной при высокой прозрачности атмосферы, находятся функция распределения сдвигов уровня отсчета ΔP^* , систематическая ΔP^* и случайная $\sigma(\Delta P^*)$ составляющие сдвига / I /.

2. По осредненной серии сигналов обратного рассеяния, полученной при высокой прозрачности атмосферы, находится геометрический фактор лидара $q(z)$. При этом предварительно исключается систематическая составляющая сдвига уровня отсчета ΔP^* , приводящая к появлению систематической ошибки в определении $q(z) / 3 /$.

3. Серии сигналов обратного рассеяния, подлежащие обработке,

осредняются с последующим устранением систематической составляющей сдвига уровня отсчета $\overline{\Delta P^*}$. (Полагается, что сдвиги уровня отсчета ΔP^* не зависят от показателя ослабления μ').

4. По минимуму погрешности $|\Delta \mu'_m|$, определяемой с использованием метода наименьших квадратов, выбирается линейный участок функции

$$y(z) = \ln \left[\frac{(\overline{P(z)} - \overline{\Delta P^*}) z^2}{q(z)} \right]$$

и по (4) вычисляется μ' .

5. По соотношениям (4), (8), (9) на выбранном линейном участке функции $y(z)$ вычисляется погрешность $\Delta \mu'_N$, обусловленная наличием крупномасштабных неоднородностей и аппаратными шумами. На этом же участке по способу, описанному в / I /, находится погрешность $\Delta(\mu')^*$, связанная с неточностью определения систематической составляющей сдвига уровня отсчета $\overline{\Delta P^*}$.

6. На выбранном для обработки участке трассы по серии сигналов обратного рассеяния, используемой для нахождения $q(z)$, рассчитывается погрешность $\Delta \mu'_r$, вызванная наличием крупномасштабных неоднородностей и аппаратными шумами.

7. Средняя квадратическая погрешность вычисляется по формуле

$$\Delta \mu'_{ск} = \sqrt{(\Delta \mu'_r)^2 + (\Delta \mu'_N)^2 + (\Delta \mu'_m)^2 + [\Delta(\mu')^*]^2}. \quad (10)$$

В описанной последовательности обрабатывались экспериментальные данные, полученные при проведении синхронных измерений прозрачности атмосферы лазерными локаторами и базисными приборами в 1979-1980 гг. на полевой базе в пос. Воейково. Лидар, с помощью которого выполнялись измерения, имел следующие параметры: длина волны зондирующего излучения - 0,694 мкм, угловое расхождение светового луча - 2', диаметр выходного зрачка излучателя - 50 мм, угол поля зрения приемника - 3', диаметр выходного зрачка приемника - 60 мм, расстояние между оптическими осями приемника и излучателя - 65 мм, частота повторения импульсов - 0,02 Гц.

В таблице представлены погрешности $\Delta \mu'_{ск}$, $\Delta \mu'_r$, $\Delta \mu'_m$, $\Delta \mu'_N$, $\Delta(\mu')^*$, рассчитанные для рассматриваемого лидара, а также величины μ'_B , определяемые по показаниям прибора типа М-37 с базой 960 м (помеченные звездочками величины μ'_B получены посредством визуальных наблюдений за метеорологической дальностью видимости). Величины μ' находились методом наименьших квадратов по предварительно осредненным сериям из N сигналов обратного рассеяния.

При обработке выявлено, что доверительные интервалы, расчи-

Таблица

Результаты расчетов погрешностей определения натурального показателя ослабления по методу наименьших квадратов

Серия	N	μ'_B км-1	$\Delta\mu'_B$ км-1	μ' км-1	$\Delta\mu'_{ск}$ км-1	$\Delta\mu'_r$ км-1	$\Delta\mu'_n$ км-1	$\Delta\mu'_m$ км-1	$\Delta(\mu')^*$ км-1
I	5	6*		4,95	0,32	0,12	0,28	0,07	0,05
2	8	3*- 6*		4,03	0,29	0,12	0,24	0,09	0,05
3	9	0,81	0,05	0,52	0,09	0,06	0,07	0,01	0,02
4	10	0,54	0,03	0,02	0,10	0,06	0,08	0,02	0,02
5	11	2,13	0,17	2,14	0,25	0,06	0,24	0,04	0,04
6	8	0,93	0,06	0,43	0,09	0,06	0,05	0,04	0,01
7	4	2,64	0,28	3,08	0,33	0,10	0,30	0,10	0,02
8	4	3,37	0,56	4,64	0,86	0,12	0,84	0,13	0,02
9	10	0,63	0,07	0,28	0,10	0,06	0,07	0,02	0,03
10	10	0,15*-0,2*		-0,05	0,13	0,07	0,10	0,03	0,01
11	10	0,15*-0,2*		-0,10	0,11	0,10	0,03	0,02	0,02
12	11	1,28	0,09	0,43	0,08	0,06	0,05	0,03	0,01
13	9	1,34	0,09	0,70	0,10	0,06	0,07	0,03	0,01
14	10	0,15*		0,44	0,13	0,08	0,10	0,03	0,04
15	6	0,15*		0,35	0,12	0,07	0,09	0,02	0,03
16	9	0,15*		0,74	0,21	0,09	0,18	0,03	0,03
17	10	0,15*		0,20	0,11	0,06	0,09	0,01	0,01
18	11	1,19	0,08	1,18	0,14	0,07	0,09	0,03	0,08
19	8	1,02	0,12	2,73	0,18	0,12	0,11	0,04	0,06
20	10	0,30	0,03	0,09	0,09	0,06	0,07	0,01	0,01
21	5	0,31	0,03	0,10	0,10	0,05	0,08	0,01	0,02
22	6	0,76	0,04	1,59	0,12	0,09	0,07	0,01	0,02
23	12	15*		18,44	1,19	0,71	0,90	0,31	0,13
24	10	15*		17,61	0,96	0,71	0,56	0,30	0,09
25	9	1,23	0,13	1,14	0,16	0,09	0,13	0,03	0,03
26	6	0,48	0,04	0,06	0,08	0,06	0,05	0,02	0,02

танные для величин μ'_B и μ' при вероятности $p = 0,95$, пересекаются в 18 случаях из 26. Следовательно, расхождения между μ'_B и μ' не могут объясняться только случайными искажениями сигналов обратного рассеяния.

Чтобы проверить соответствие оценок случайных погрешностей $\Delta\mu'_{ск}$ и реальных случайных расхождений величин μ'_B и μ' , исключалась систематическая погрешность в определении μ' по методу наименьших квадратов. Для этого предварительно отбрасывались как ненадежные данные, полученные по визуальным наблюдениям при плохой

метеорологической дальности видимости и серия I9, не удовлетворяющая правилу трех сигм. По оставшимся данным были найдены коэффициент корреляции ρ величин μ' и μ'' и уравнение регрессии $\mu' = a\mu'' + b$ ($\rho = 0,92$; $a = 1,22$; $b = -0,24$). Поскольку коэффициент корреляции ρ довольно высокий, можно предположить, что систематическая составляющая погрешности определения μ' по методу наименьших квадратов описывается уравнением $\Delta\mu'_{\text{сист}} = 0,22 \times \mu'' - 0,24$. После исключения $\Delta\mu'_{\text{сист}}$ значения величин μ'' и μ' совпали в пределах случайных составляющих погрешностей в 15 случаях из 26, что приблизительно соответствует доверительной вероятности $p = 0,68$, с которой определяются случайные погрешности.

Это позволяет сделать вывод, что значение случайной составляющей погрешности определения μ' методом наименьших квадратов соответствует реальным случайным расхождениям между значениями величин μ' и μ'' , определяемых соответственно по лидарным сигналам и базисным приборам.

Список литературы

1. Игнатенко В.М. К вопросу об инструментальных погрешностях при лидарном измерении показателя ослабления атмосферы. - См. наст. сб.
2. О некоторых особенностях аэрозольных профилей атмосферы / Б.М.Голубицкий, Ю.П.Дябин, С.О.Мирумянц, А.И.Ситников. - В кн.: Труды Всесоюзного симпозиума по радиофизическим исследованиям атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1977, с.38-42.
3. Скредин А.Л., Хутко И.С., Николаев Л.В. Изучение возможностей восстановления вертикальных профилей показателя рассеяния чистой и облачной атмосферы из данных лазерного зондирования. - В кн.: 3-й Всесоюзный симпозиум по лазерному зондированию атмосферы. Тезисы докладов. Томск, 1974, с.106-112.
4. Справочник по вероятностным расчетам / Г.Г.Абергауз, А.П.Тронь, Ю.П.Копенкин, И.А.Коровина. - М.: Воениздат, 1970, с.320-328.

Е.Л.Махоткина

СВЯЗЬ КОЭФФИЦИЕНТА МУТНОСТИ АНГСТРЕМА С КОРОТКОВОЛНОВЫМ ФАКТОРОМ МУТНОСТИ ЛИНКЕ

Как известно, фактор мутности Линке T и коротковолновый фактор мутности T_k определяются по формуле с учетом предварительно

вычисленных значений коэффициента прозрачности идеальной атмосферы для различных масс m . В отличие от этого для определения коэффициента мутности β Ангстрема используются только табличные данные, полученные на основании численных расчетов. Какие-нибудь приближенные аналитические формулы для вычисления коэффициента β до сих пор никогда не приводились. В литературе, кроме эмпирически выведенного соотношения типа $T_k \approx 1 + k\beta$, в котором коэффициент k по Фойснеру / 5 / равен примерно 12, лишь изредка указывалась простая формула $T_k = 1 + 1,22 \lambda^{2,7} \beta$, где λ — длина волны в мкм, полученная только для случая монохроматической радиации. При этом коэффициент β и фактор мутности T_k воспринимались как принципиально различные характеристики / 5 /; T и T_k постепенно выходили из употребления, а коэффициент β используется в настоящее время достаточно широко.

Выяснение соотношений, связывающих коэффициент β с исходными значениями солнечной радиации S_k и с массой m , представляет интерес для определения его структуры и физического смысла. этой целью первоначально зависимость S_k от m для идеальной атмосферы ($\beta = 0$) была аппроксимирована выражением, подобным ф-ле Кастрова

$$S_{k1} = \frac{c_1}{1 + c_2 m^6} = 10^{-f_2(m)}, \quad (1)$$

где c_1 и c_2 — некоторые коэффициенты, а δ — показатель степени, который может отличаться от единицы. Далее для каждого фиксированного значения m определялась зависимость $\lg S_{k1} - \lg S_k$ от β и было обнаружено, что $\lg S_{k1} - \lg S_k \approx \beta m [f_1(m)]$, где

$f_1(m)$ — коэффициент, равный примерно единице, сравнительно мало изменяющийся в зависимости от m . Комбинируя эти выражения, можно получить следующую простую формулу:

$$-\beta m \approx f_1(m) [f_2(m) + \lg S_k], \quad (2)$$

согласно которой параметр βm аналогично параметру $m T_k$ приближенно представляется линейной функцией $\lg S_k$ с коэффициентами, зависящими только от m . Так как имеются два варианта определения по наблюдениям с разными фильтрами, выделяющими область спектра либо с $\lambda < 700$ нм, либо с $\lambda < 630$ нм, для каждого из них с помощью известных табличных данных / 3, 4 / были найдены соответствующие выражения для коэффициентов f_1 и f_2 . При $\lambda < 630$ нм:

$$f_1(m) = [1.16 - 0.22 \lg m]^{-1}, \quad f_2(m) = 0.126 + \lg(1 + 0.25 m^{1.16}); \quad (3)$$

при $\lambda < 700$ нм:

$$f_1(m) = [1.06 - 0.2 \lg m]^{-1}, \quad f_2(m) = 0.232 + \lg(1 + 0.224m). \quad (4)$$

Вычисленные по формулам (3) и (4) значения коэффициентов f_1 и f_2 представлены в виде кривых на рисунке.

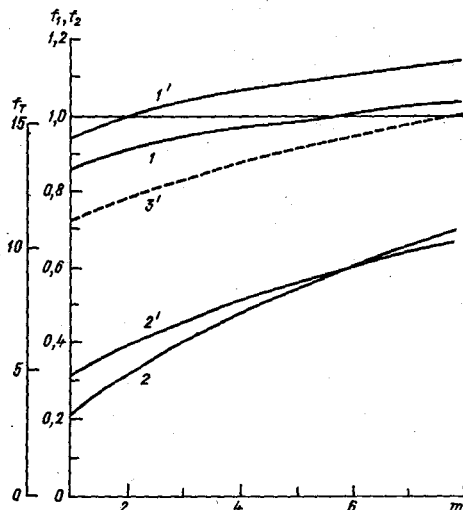


Рис. Зависимость коэффициентов f_1, f_1', f_2 от массы атмосферы m .

При $\lambda < 630$ нм: 1 - f_1 , 2 - f_2 , при $\lambda < 700$ нм: 1' - f_1 , 2' - f_2 , 3' - f_3 .

Для проверки практической применимости выведенной приближенной формулы (2) с коэффициентами, даваемыми выражениями (3) и (4), по ней был сделан обратный расчет значений β по величинам S_k и m , взятым из исходных таблиц / 3, 4 /. Как показывают результаты этого расчета, вычисленные значения β достаточно близки к заданным при среднем квадратическом отклонении $\sigma = \pm 2$ (если выражать β , как обычно, в тысячных долях единицы).

Учитывая, что по определению $\lg S_k = \lg S_{ki} + m(T_k - 1) \lg q_{kmi}$ (здесь q_{kmi} - коэффициент прозрачности идеальной атмосферы для данной области спектра при массе m) и что в соответствии с выражением (1) $f_2(m) \approx -\lg S_{ki}$, можно переписать формулу (2) в виде прямого соотношения между β и T_k :

$$\beta \approx -[f_1(m) \lg q_{kmi}](T_k - 1) = k(T_k - 1). \quad (5)$$

Коэффициент пропорциональности k зависит от массы m слабо:

чем каждый из входящих в него множителей, так как $\lg q_{kmi}$ убывает при увеличении m , а $f_1(m)$ возрастает. Используя литературные данные о значении q_{kmi} и формулы (3) и (4), можно подсчитать, что при $1 \leq m \leq 3$ для $\lambda < 0,62$ мкм $k = 0,093 \pm 0,003$, а для $\lambda < 0,70$ мкм $k = 0,085 \pm 0,003$. Сравнительно слабая тенденция к убыванию значений k при увеличении m (понижающихся при $m = 8$ до 0,083 для $\lambda < 0,62$ мкм и до 0,074 для $\lambda < 0,70$ мкм) не дает сколько-нибудь определенных указаний на преимущества того или другого параметра (β или T_k).

Сопоставляя коэффициент мутности β с коротковолновым фактором мутности T_k , можно написать:

$$m\beta \approx f_1(m)(\lg S_{k1} - \lg S_k); \quad mT - 1 = f_T(m)(\lg S_{k1} - \lg S_k). \quad (6)$$

Первое из соотношений (6) является результатом проведенного анализа связи табличных данных, второе вытекает из определения фактора мутности, причем $f_T = -(\lg q_{kmi})^{-1}$. Как видно из рисунка, кривая для коэффициента f_1 подобна пунктирной кривой для коэффициента f_T , вычисленной по значениям q_{kmi} при $\lambda < 0,625$ мкм и представленной в другом масштабе. Коэффициенты $f_1(m)$ и $f_T(m)$ в соотношениях (6) стоят перед одинаковыми множителями $(\lg S_{k1} - \lg S_k)$. Следовательно, характеристики β и T_k , за исключением частных деталей, вообще не отличаются друг от друга и все замечания, касающиеся T_k или аналогичного ему по определению T , распространяются и на β . В частности, это может относиться и к использованию параметра $m\beta$ для характеристики условий сравнения образцовых актинометрических приборов. Одноитпность параметров $m\beta$ и mT_k , исключает возможность значительного улучшения каких-либо оценок (в частности, интенсивности ореола) при переходе от параметра mT_k к параметру $m\beta$. Более того, наличие линейной зависимости mT и $m\beta$ от $\lg S_k$, аналогичной зависимости mT от $\lg S$, влечет за собой, как показано в статье / 2 /, не только возможность, но и целесообразность перехода от искусственно вводимого параметра $m\beta$ к непосредственно измеряемой величине S_k (или S), содержащей всю доступную в данное время информацию и играющей также роль параметра, характеризующего условия сравнения образцовых актинометрических приборов.

Список литературы

1. Драммонд А.Д. Прецизионная радиометрия и ее значение для изучения физики атмосферы и космоса. - В кн.: Прецизионные радиационные измерения в метеорологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1972, с. 7-52
2. Махоткина Е.И. О выборе параметра для характеристики условий сравнения контрольных актинометрических приборов. - Труды ГГО,

1977, вып. 384, с. 80-86.

3. Онгстрем А.К. Об определении характеристик мутности атмосферы и их связи с пиргелиометрическими измерениями. - В кн.: Прецизионные радиационные измерения в метеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1972, с. 202-214.

4. Перрен де Бришамбо Ш. Солнечное излучение и радиационный обмен в атмосфере. - М.: Мир, 1965. 319 с.

5. Foitzik L., Hinzpeter H. Sonnenstrahlung und Lufttrübung. Leipzig, Akad. Verlagsges. Goest und Portig, 1958.-80 S.

Н.И. Никитинская, В.Н. Цветкова

ОБ ИЗМЕНЕНИИ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА В АТМОСФЕРЕ В ПЕРИОД СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ

В периоды солнечных затмений на поверхности Земли создаются особые условия наблюдений, позволяющие проводить уникальные астрономические и геофизические исследования. В геофизических исследованиях можно выделить три основных направления: 1) метеорологические наблюдения и изучение характеристик турбулентности приземного слоя воздуха / 15, 10, 17 /; 2) атмосферно-оптические наблюдения рассеянной радиации, яркости и поляризации дневного неба / 14, 16, 19, 20 /; 3) исследования, связанные с особенностями протекания фотохимических реакций в атмосфере (главным образом определение общего содержания озона в атмосфере) / 8, 9 /. Настоящая статья посвящена наблюдениям за общим содержанием водяного пара в атмосфере, определенным в сантиметрах осадочной воды, в период затмения и может быть условно отнесена к третьей группе исследований.

Многочисленные фотохимические реакции в атмосфере часто происходят с участием молекул водяного пара. В качестве примера может быть приведена реакция образования капель раствора серной кислоты при участии молекул SO_2 и H_2O под влиянием коротковолнового излучения Солнца / 11, 13, 21 /. В принципе возможна даже реакция фотолиза молекул водяного пара под влиянием электромагнитного излучения. Однако, как показывают элементарные расчеты, энергия фотонов, соответствующая излучению 290-300 нм, т.е. та энергия, которая прошла защитный слой озона, равна примерно 6-7 эВ вместо 10 эВ, необходимых для протекания реакции. Поэтому она наблюдалась только в лабораторных условиях, хотя авторы работы / 12 / считают возможным существование возникающих в результате фотолиза и дальнейших реакций аэрозольных частиц в атмосфере Земли и Венеры.

Водяной пар благодаря возможности установления водородных свя-

зей с ядрами разного химического состава вообще является одним из очень активных компонентов атмосферы и участвует в процессах гидратации, конденсации и коагуляции. Условия их протекания в некоторых случаях могут оказаться связанными с энергетической освещенностью / 16 /. С учетом сказанного, исследования общего содержания водяного пара в атмосфере в периоды затмений, когда интенсивности излучения в разных спектральных участках быстро изменяются, не лишены интереса.

Определение общего содержания водяного пара в сантиметрах осажденной воды в период затмения Солнца выполнено 22.09.1968 г. в Репетекском биосферном заповеднике (Туркменская ССР, Каракумы). Затмение наблюдалось во второй половине дня; оно началось при массе атмосферы $m = 1,70$, максимальная фаза имела место при $m = 2,50$, причем в это время было закрыто приблизительно 85 % поверхности диска Солнца, конец затмения отмечался незадолго до захода Солнца при $m = 4,60$. Исследования велись с помощью оптического гигрометра, работа которого основана на термоэлектрическом принципе, и двух интерференционных светофильтров: 1) настроенного на полосу поглощения водяного пара ρ_{942} ($\lambda_{\max} = 942$ нм) и 2) работающего в области $\lambda_{\max} = 1007$ нм, т.е. вне полосы поглощения.

Отношение J_{942}/J_{1007} (где J_{942} и J_{1007} — интенсивности, измеренные прибором в относительных единицах и соответствующие указанным длинам волн) при определенной массе атмосферы является основой для построения градуировочного графика прибора. Высотные данные о температуре, относительной и абсолютной влажности позволяют произвести послойное интегрирование значений общего содержания водяного пара W и вычислить его непосредственно в сантиметрах осажденной воды с точностью 5–10 % / 4 /.

Определению общего содержания водяного пара в атмосфере сопутствовало определение характеристик спектральной мутности атмосферы в интервале 350–1007 нм с помощью того же прибора, который выполнял функции фильтрового солнечного фотометра. Исследуемые участки спектра соответствовали длинам волн $\lambda_{\max} = 350, 375, 396, 454, 499, 566, 680, 754, 805$ и 1007 нм. С учетом систематических ошибок и влияния озона вычислялись оптические плотности атмосферы D_a и их аэрозольные составляющие S_a . Такие исследования проводились в Репетекке в течение сентября 1968 г. Процедура определения оптической плотности атмосферы кратко изложена ниже.

В течение срока наблюдений, а также в период подготовки к нему (в условиях Ленинградской области) отмечалось несколько дней, стабильных в оптическом отношении, когда интенсивности солнечной радиации, наблюдаемые в до- и послеполуденные часы во всех участках спектра, совпадали друг с другом при равных высотах Солнца. Экстра-

поляция за пределы атмосферы бугеровских прямых, полученных в подобные дни, с учетом систематических ошибок, позволила определить внеземные значения интенсивности радиации J_{λ} в относительных единицах для всех исследуемых участков солнечного спектра (разумеется, за исключением $\lambda_{\max} = 942$ нм). Это в свою очередь послужило основой для определения оптической плотности атмосферы в любой момент времени / 1 /, в частности, 22 сентября, который от полудня до начала затмения может быть отнесен к числу стабильных. (Впоследствии программа подобных наблюдений использовалась в комплексных экспериментах ГАРАКС, ТРОПЭКС, АТЭП и ПИГАП / 2, 3 /).

Корректность дальнейших выводов и возможность использования градуировочного графика прибора в течение затмения определяют расчеты, подтверждающие слабую изменчивость отношения J_{942}/J_{1007} в этих условиях. Суть дела заключается в следующем: благодаря данным об оптической плотности атмосферы D_{λ} в области 350-1007 нм, полученным в день затмения (до его начала), удалось дать оценку так называемому эффекту покраснения солнечного диска незадолго до максимальной фазы затмения, когда поверхностью Луны были закрыты наиболее "горячие" участки солнечной поверхности, точнее, построить ориентировочную кривую распределения энергии во внеземном солнечном спектре в различные фазы затмения. Основой для этих расчетов послужило наличие пропорциональности между лучистой энергией за пределами атмосферы, рассчитанной в абсолютных единицах J_{λ} в соответствии с работой / 5 /, и значениями J_{λ} , определенными в относительных единицах авторами настоящей работы. В предположении неизменного состояния прозрачности атмосферы указанная пропорциональность не зависит от степени закрытия диска Солнца. В связи с этим возможно использование формулы

$$J_{\lambda} = J_{\lambda_0} \cdot 10^{-D_{\lambda} m} \quad (2)$$

Кривые распределения энергии во внеземном спектре, ориентировочно рассчитанные через 10 нм по отношению к энергии в области спектра 1007 нм, до начала затмения (кривая 1) и в период его максимальной фазы (кривая 2) даны на рис.1. Результаты расчетов доказывают справедливость закона излучения абсолютно черного тела Стефана-Больцмана $E = \sigma T^4$ и закона смещения Вина $\lambda_{\max} T = \text{const}$, где E , σ , T и $\lambda_{\max}$ означают соответственно интегральную энергетическую светимость, постоянную Стефана-Больцмана, цветовую температуру поверхности Солнца и длину волны максимального излучения. Из рис.1 следует, что отношение J_{942}/J_{1007} практически не зависит от степени закрытия диска Солнца, поскольку существенные изменения в распределении энергии отмечаются только в более коротковолновых областях спектра. Тот же результат получается и при ориентировочной

оценке изменчивости отношения I_{942} / I_{1007} общепринятым способом / 6, 7 /. Таким образом, в дальнейших выводах эффект покраснения Солнца не учитывался.

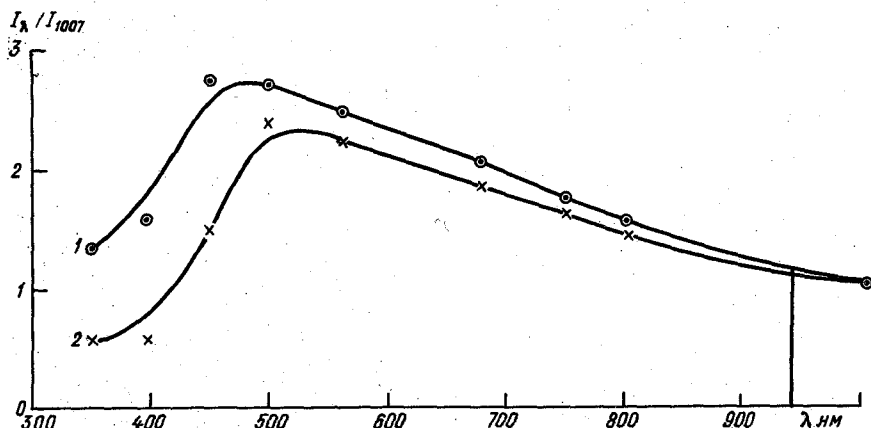


Рис.1. Кривые распределения энергии в спектре Солнца относительно энергии в области 1007 нм.

1 - до начала затмения / 5 /, 2 - в период максимальной фазы (85 %).

На рис.2 представлены примеры изменения интенсивности радиации для различных контролируемых прибором участков солнечного спектра, в зависимости от массы атмосферы m . Ход кривых отражает одновременное действие нескольких факторов: постепенное закрытие и открытие диска Солнца, причем наглядно видно, как быстро в течение этих процессов падает и возрастает интенсивность в коротковолновых участках спектра по сравнению с длинноволновыми, а также эффект Форбса, проявляющийся в более медленном падении интенсивности при открытии диска Солнца незадолго до заката. Как видно из рис.2, наблюдаемые изменения постепенны и закономерны, что связано с инерционностью используемого термоэлектрического прибора (его постоянная времени составляет несколько секунд) и достаточно стабильным состоянием атмосферы в период наблюдений.

На рис.3 показаны ход прямой солнечной радиации S в период затмения в зависимости от высоты Солнца и общего содержания водяного пара в атмосфере W . Как видно из рисунка, значение общего содержания водяного пара в течение светлой половины суток практически неизменно, что обычно для условий пустыни, где нет испарения с подстилающей поверхности, если остается неизменной синоптическая обстановка. Во время затмения оно достигает вместо 1,5 см приблизительно 2 см осадочной воды, а затем вновь падает до 1,8 см, т.е. не достигает первоначального значения. Изменения значений прямой солнеч-

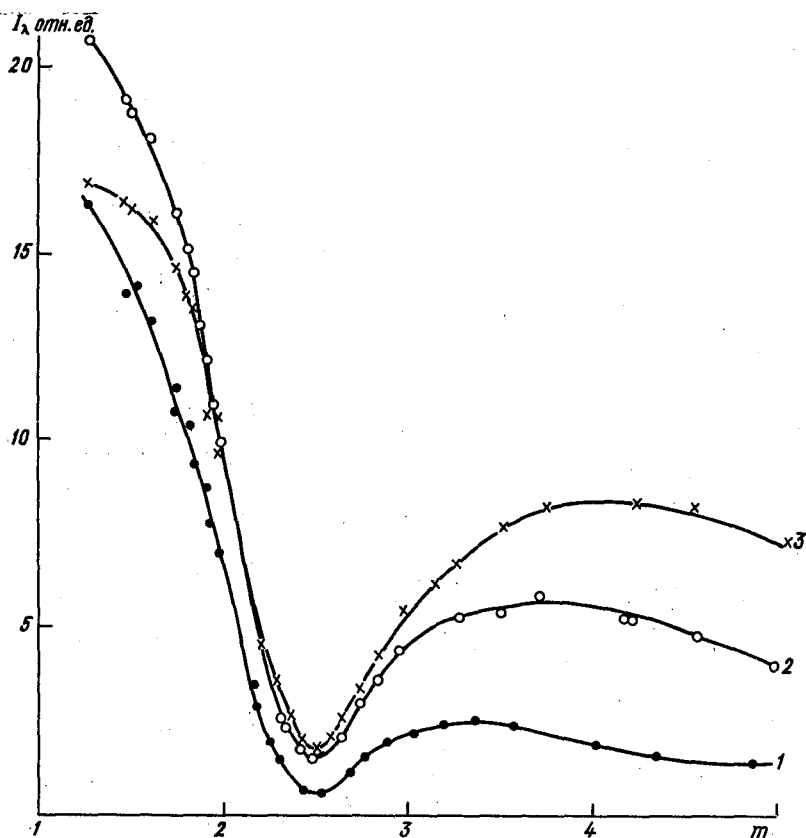


Рис.2. Изменение интенсивности радиации в период солнечного затмения в зависимости от массы атмосферы m .

1) $\lambda_{max} = 396$ нм; 2) $\lambda_{max} = 942$ нм; 3) $\lambda_{max} = 1007$ нм.

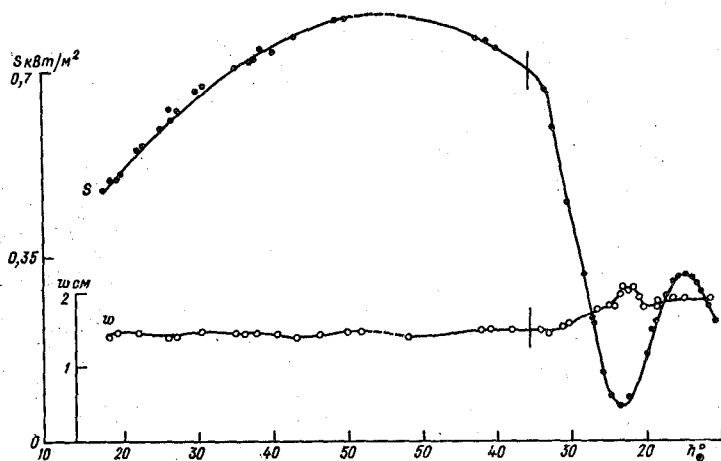


Рис.3. Ход прямой солнечной радиации S и общего содержания водяного пара в атмосфере W в день солнечного затмения 22 сентября 1968 г.

ной радиации S и общего содержания водяного пара в атмосфере W происходят практически синхронно. Объяснение наблюдаемого явления циркуляционными процессами отпадает. Анализ приземных синоптических карт, карт барической топографии от 500 до 700, данных радиозондирования и материалов наблюдений, полученных на следующий день, показывает, что общее содержания водяного пара в атмосфере 23 сентября еще более упало, достигнув 1 см осажденной воды. Оба дня пункт наблюдений находился в зоне тропического воздуха, прибывшего из района Ирама - Афганистана. Центр циклона, в теплом секторе которого находился Репетек, переместился с 22 на 23 сентября из района Тбилиси в район Красноводска.

Таким образом, можно констатировать, что в период затмения наблюдалось увеличение общего содержания водяного пара в атмосфере, выходящее за пределы ошибок наблюдения. Каких-либо объяснений этому явлению пока нет. Следует отметить также, что при больших значениях

общего содержания водяного пара оптический метод определения менее достоверен вследствие особенностей хода градуировочной кривой прибора. Поэтому в дальнейшем целесообразно повторение эксперимента в условиях малых значений общего содержания водяного пара: либо в районе пустыни, либо в высокогорных условиях.

Список литературы

1. Бартенева О.Д., Веселова Л.К., Никитинская Н.И. К вопросу об измерении спектральной мутности атмосферы в экспедиционных условиях с помощью узкополосных светофильтров. - В кн.: Тезисы докладов XI Всесоюзного совещания по актинометрии. Ч.П. Изд.АН ЭССР, 1980, с.25-28.
2. Бартенева О.Д., Веселова Л.К., Никитинская Н.И. О радиационных эффектах и особенностях оптических свойств атмосферного аэрозоля в условиях пустыни. Первый глобальный эксперимент ПИТАП. Т.1 Аэрозоль и климат. Л.: Гидрометеиздат, 1981.
3. Бартенева О.Д., Веселова Л.К., Никитинская Н.И. Об оптических свойствах атмосферного аэрозоля тропической зоны Атлантического океана. - В кн.: ТРОПЭК-72. Труды Межведомственной геофизической экспедиции по программе национального Атлантического тропического эксперимента. Л.: Гидрометеиздат, 1974, с.482-495.
4. Бартенева О.Д., Никитинская Н.И., Полякова Е.А. Спектральная прозрачность и влагосодержание атмосферы над Памиром. - Труды ИГО, 1969, вып.237, с.112-120.
5. Макарова Е.А., Харитонов А.В. Распределение энергии в спектре Солнца и солнечная постоянная. - М.: Наука, 1972.
6. Макарова Е.А., Харитонов А.В. Потемнение диска спокойного Солнца к краю (усредненные данные). Непрерывный спектр. - Астрономический журнал, т.53, вып.6, 1976, с.1234-1243.
7. Макарова Е.А., Харитонов А.В. Потемнение диска спокойного Солнца к краю. Интегральный спектр. - Астрономический журнал, т.54, вып.1, 1977, с.115-121.
8. Озерович А.Л., Розинский М.Я., Юрганов Л.Н. Исследования атмосферного озона во время полного затмения Солнца 22/IX 1968 г. Изв.АН СССР. ФАО, 1969, т.5, № 1, с.1223-1226.
9. Хргиан А.Х., Кузнецов Г.И. Проблема наблюдений и исследований атмосферного озона. - М.: Изд-во МГУ, 1981, с.160-165.
10. Antonia R.A., Chambers A.J., Phong Anant D., Rajagopalan S., Sreenivasan K.R. Response of atmospheric surface layer turbulence to a partial solar eclipse. - J.Geophys.Res., 1979, vol.84, № 4, p.1689-1692.
11. Brossset C. Airborne acid. Ambio, 1973, vol.2, № 1-2, p.2-9.

12. Clark J.D., Noxon J. Particulate formation during water-vapor photolysis. Science, 1971, vol.174, N 4012, p.941-944.
13. Graedel T.E. Atmospheric photochemistry. React. and Process Berlin e.a., 1980, 107-143.
14. Gerharz R. Appearance of the atmospheric scatter field during a solar eclipse. - J.Geophys. 1976, vol.42, N 2, p.163-167.
15. Firneis M., Firneis F.J. Der Temperaturverlauf bei der totalen Sonnenfinsternis vom 30 Juni 1973. Sitzungsber. Osterr. Akad. Wiss. Math-naturwiss. Kl.1974, Abt 2, Bd 183, N 1-3, s.50-70.
16. Goetz A., Klefnot O.J. Formation and degradation aerocolloids by ultraviolet radiation. Envir. Sci. and Technol, 1972, vol.6, N 2, p.143-151.
17. Heussler H. Zur Temperaturbeeinflussung durch die ringförmige Sonnenfinsternis am 20 Mai 1966. - Sterne und Weltraum. 1967, Bd 6, N 1, s.19-20.
18. Rao C.B.N., Takashima, Moore J.G. Polarimetry of the daytime sky during solar eclipses. - J.Atmos. and Terr. Phys., 1972, vol.34, N 4, 573-576.
19. Sharp W.E., Silverman L.J. Summary of sky brightness during eclipses of the sun. - Appl. Opt., 1971, vol.10, N 6, p.1207-1210.
20. Silver S.M., Mullen E.G. Sky brightness during eclipses: a review. - Appl.Opt., 1975, vol14, N 12, p.2838-2843.
21. Takahashi K. Kasahara M, Itoh A kinetic model of sulfuric acid aerosol dioxide vapor. - Aerosol Sci., 1975, vol.6, N 1, p.45-55.

Г.С.Петров, С.И.Зачек, Д.А.Тайц
Ю.Д.Горбенко

ПИРГЕЛИОМЕТР ППГ-I

Пиргелиометр ППГ-I с полупроводниковыми термоэлектрическими приемниками излучения предназначен для измерения в полуавтоматическом режиме энергетической освещенности, обусловленной прямой солнечной радиацией. После метрологической аттестации прибор может быть использован в качестве образцового средства измерения при поверке образцовых актинометров на сети метеорологических станций.

В основу прибора положен метод параллельной сравнительной калориметрии (замещения), нашедший применение в пиргелиометрах Ангстрема. При реализации этого метода электрический сигнал одного приемника, создаваемый измеряемой радиацией, сравнивается с сигналом,

производимым известной электрической мощностью, поданной ко второму идентичному приемнику, защищенному от прямой солнечной радиации / 2/.

Передача единицы измерения радиации рабочим актинометрическим средствам на сети гидрометеорологических станций осуществляется разнотипными образцовыми приборами, в том числе и пиргелиометрами Ангстрема; однако нашей промышленностью они не выпускаются; за рубежом такие приборы, в том числе с автоматическим уравниванием, производятся серийно / 6 /.

Пиргелиометр ППП-І разработан специалистами ГСКБ теплофизического приборостроения и ИГО. Показатели назначения прибора представлены в таблице.

Таблица

Показатели назначения пиргелиометра ППП-І

Технические характеристики и параметры	Значение
Диапазон измерения энергетической освещенности, кВт/м ²	0,3-І,І
Переводный множитель, кВт/(м ² ·В ²)	0,150 ± 0,050
Интегральный коэффициент преобразования приемников пиргелиометра, мВ·м ² /кВт	Не менее 40
Центральный угол зрения, градусы	10 ± 0,5
Основная допускаемая приведенная погрешность измерения, %	Не более І,5
Дополнительная погрешность измерения, обусловленная изменением температуры окружающей среды, %	Не более 0,2
Разность коэффициентов преобразования приемников пиргелиометра при нормальных условиях, температуре (20 ± 5) °С, и энергетической освещенности не менее 0,3 кВт/м ² , %	5
Разность коэффициентов преобразования приемников пиргелиометра при подаче электрической мощности на пленочные нагреватели не менее 0,05 Вт при нормальных условиях, температуре (20 ± 5) °С, %	0,5
Погрешность рассогласования системы автоматической компенсации, %	0,І
Время установления выходного сигнала, с	Не более 30
Электрическое сопротивление пленочных нагревателей, Ом	130 ± 20
Электрическое сопротивление изоляции между выводами термобатареи и корпусом пиргелиометра при нормальных условиях и напряжении постоянного тока до 4 В, МОм	Не менее 0,5

Технические характеристики и параметры	Значение
Электрическое сопротивление изоляции между корпусом и электрической цепью для блока компенсации, МОм	Не менее 20
Выходное сопротивление теплового блока для термобатарей при нормальных условиях, Ом	Не более 100
Потребляемая мощность, В·А	Не более 50
Напряжение и частота сетевого питания, В, Гц	220, 50
Наработка на отказ, ч	Не менее 5000
Средний срок службы, лет	10
Габаритные размеры, мм	Не более 520x430x200
Масса пиргелиометра, кг	Не более 15

Общий вид пиргелиометра ПП-1 показан на рис.1. Пиргелиометр состоит из теплового блока 1 (первичный преобразователь) с поворотным столиком 4, блока компенсации 8, цифрового вольтметра 10 Ф2002, укладочного чемодана 9 и эксплуатационных документов.

Тепловой блок (рис.2 а) включает термоэлектрический блок 1, апертурную трубу 2 и устройство попеременного экранирования приемников 3. Апертурная латунная труба 2 теплового блока разделена на два канала системой диафрагм. Последняя диафрагма 7 с входным отверстием диаметром 20 мм и первая 8 с отверстием диаметром 10 мм образуют центральный угол зрения 10° при расстоянии 114 мм между входной (последней) диафрагмой и приемником излучения. В целом же апертурные характеристики соответствуют требованиям, предъявляемым к образцовым пиргелиометрам второго разряда / 5 /. Диафрагмы выполнены в виде чашек из тонколистовой латуни и находятся в хорошем тепловом контакте с апертурной трубой 2, что обеспечивает симметричность распределения температуры. Внутренние поверхности чашек покрыты глубокоматовой черной эмалью.

Для обеспечения соосности отверстий диафрагмы устанавливаются в трубе на двух направляющих шпильках 5 и распорных втулках 6. Шпильки 5 крепятся с одной стороны к последней диафрагме 7, а с другой фиксируются на шайбе - основании приемников излучения 9. Поджатие диафрагм осуществляется пружинами 10. Перед входной диафрагмой размещено устройство попеременного затенения приемников излучения. Это устройство состоит из двойного перекидного экрана 3, фиксатора-ограничителя 11, позволяющего установить экран в такое положение, чтобы осветить одновременно оба приемника. В целом пе-

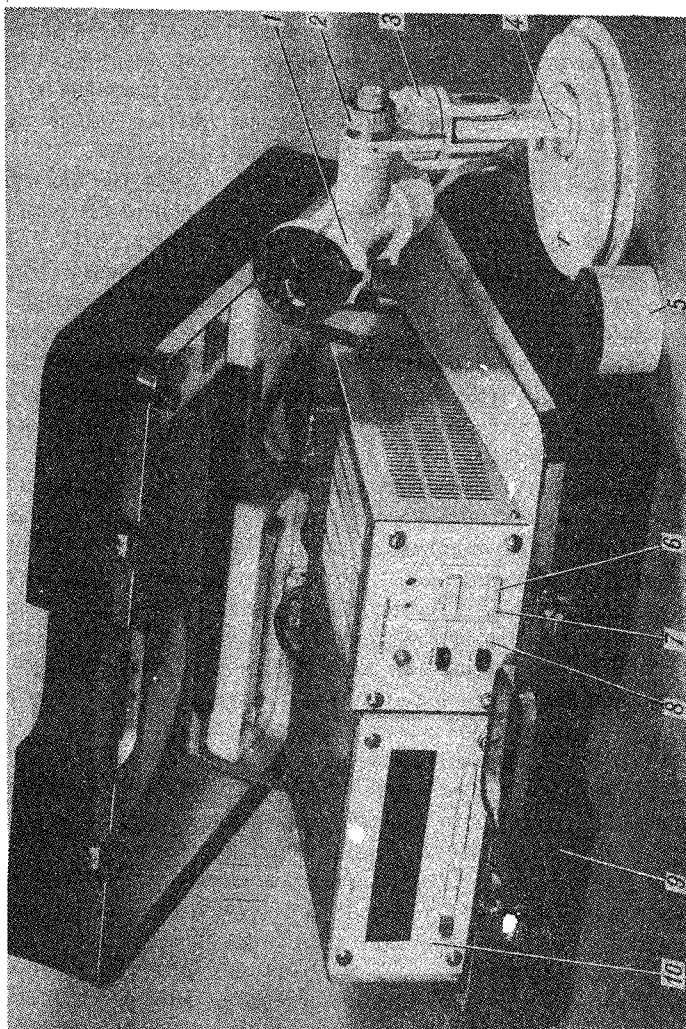


Рис. 1. Общий вид
пирелометра ПП-1.
1 - тепловой блок
(апертурная трубка с
приемником излучения),
2 - ручка поворота теп-
лового блока по углу
возвышения Солнца,
3 - азимутальное уст-
ройство, 4 - основание
(поворотный столик),
5 - крышка теплового
блока, 6 - переключач-
тель измерения напря-
жения U_1 на нагрева-
телях, 7 - переключач-
тель измерения напря-
жения U_2 , пропорцио-
нального току через
нагреватель, 8 - блок
компенсации, 9 - укла-
дочный чемодан,
10 - цифровой вольт-
метр Ф 2002.

редняя торцовая часть апертурной трубки 2 и перекидной экран защищены общим отражающим экраном 12, что уменьшает нагрев апертурной трубки. Для защиты теплового блока от попадания пыли при хранении и транспортировании служит крышка 13 с байонетным замком. Крышка используется также и при проверке нулевого показания прибора.

Термоэлектрический блок (рис.2 б) включает в себя два приемника излучения 1 и 2, смонтированные на теплоотводящем основании 3 из алюминиевого сплава соосно с каналами апертурной трубки. Каждый приемник состоит из слюдяной приемной пластины 4 с напыленным на ней в вакууме пленочным электронагревателем и тепловыравнивающей пластины 5, склеенных между собой и установленных на полупроводниковой термобатарее из четырех модулей 5 МТС-II / 4 /. Склеивание пластин, их присоединение к термобатарее, а также установка батарей на основание 3 производится с помощью теплопроводного клея (эпоксидный компаунд с окисью алюминия).

Схема нагревательного элемента видна на рис.2 б и выполнена в виде плоской спирали из напыленного висмута ($9 \text{ мкм} \pm 2 \text{ мкм}$) с подводом питания к ней по трехпроводной системе Гилхама / 2 /, позволяющей уменьшить влияние подводящих проводов и изменения электрического сопротивления спирали в процессе измерений. Электромеханическое соединение тонкопленочного нагревателя с монтажными проводами осуществляется с помощью полосок 6 из медной фольги ($0,035 \text{ мм}$), припаянных одной стороной к токовым и потенциальным контактам нагревателя, а другой - к контактной плате 7, что позволяет обеспечить гибкость соединений и избежать разрывов спирали.

Электрическая коммутация модулей МТС-II осуществлена на обратной стороне металлического корпуса. Конечные электрические выводы батарей подпаяны к контактным платам 8, к которым подсоединены провода кабеля 14, ведущего к блоку компенсации. Сопротивление 9 служит для выравнивания чувствительности термобатарей по мощности замещения. Приемные поверхности приемников излучения окрашены оптической глубокоматовой черной эмалью АК-512 / 2 /. Может быть также применена и черная эмаль АК-243. Исследования показали, что при достаточной толщине ($0,015 \text{ г/см}^2$) эти эмали практически неселективны и близки по своим оптическим качествам к лаку Парсонса, считающемуся в настоящее время одним из лучших поглотителей.

Тепловой блок для его наведения на Солнце устанавливается на поворотном столике 4 (см.рис.1). Поворотные устройства фрикционного типа / 5 / обеспечивают перемещения по углу возвышения Солнца (рукоятка 2) и в азимутальном направлении (механизм, скрытый под крышкой 3).

Как уже указывалось, в основу работы пиргелиометра положен метод сравнительной калориметрии, реализация которого осуществлена с

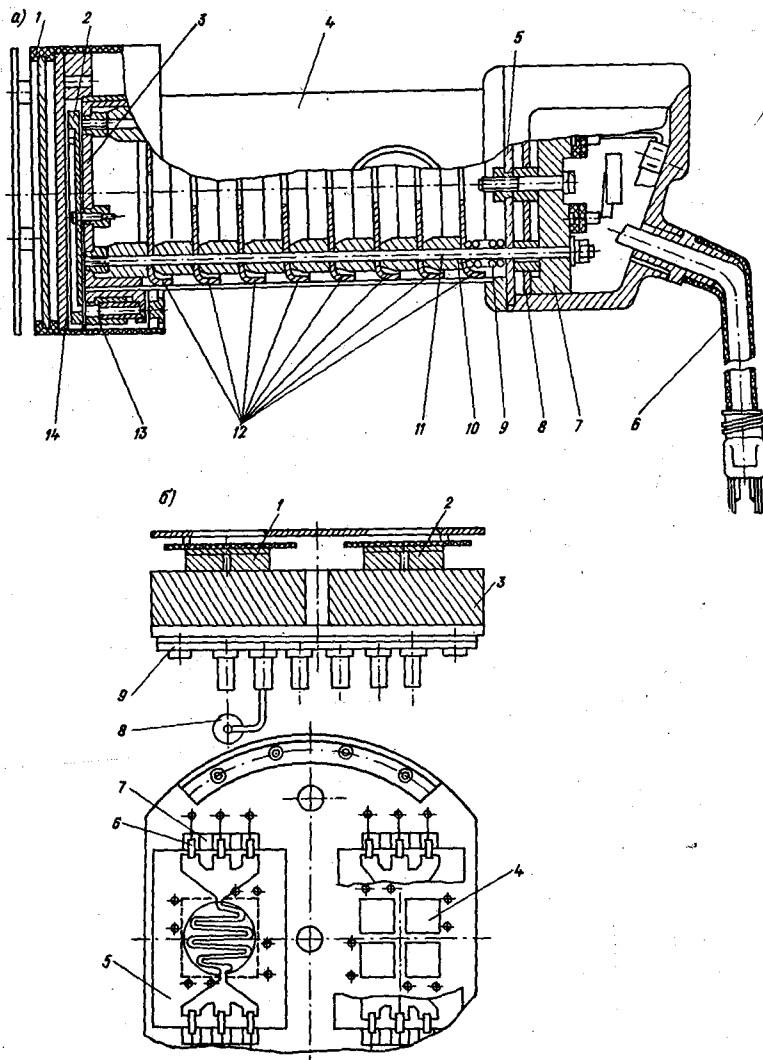


Рис.2. Тепловой блок.

- а) 1 - крышка, 2 - устройство экранирования каналов, 3 - последняя (входная) диафрагма, 4 - апертурная трубка, 5 - фланец-основание, 6 - кабель с разъемом, 7 - термоэлектрический блок, 8 - первая диафрагма, 9 - пружина, 10 - распорная втулка, 11 - центрирующий стержень, 12 - диафрагмы, 13 - фиксатор-ограничитель, 14 - отражающий экран.
- б) 1, 2 - приемники излучения, 3 - теплоотводящее основание, 4 - модули МТС-II, 5 - приемная пластина, 6 - медные полоски, 7 - контактные платы, 8 - резистор.

помощью контура аналоговой компенсации, содержащего в качестве одного из звеньев тепловой блок. Контур аналоговой компенсации представляет собой систему автоматического регулирования, в которой использован принцип регулирования по отклонению; система работает как астатическая.

Система (рис.3) состоит из двух одинаковых каналов I и II. Каждый канал содержит приемник излучения 1 и 3 (термобатареи) и компенсационный тонкопленочный нагреватель 2 и 4. Сигнал, представляющий собой разность напряжений, генерируемых приемниками излучения под воздействием солнечной радиации и мощности замещения, поступает

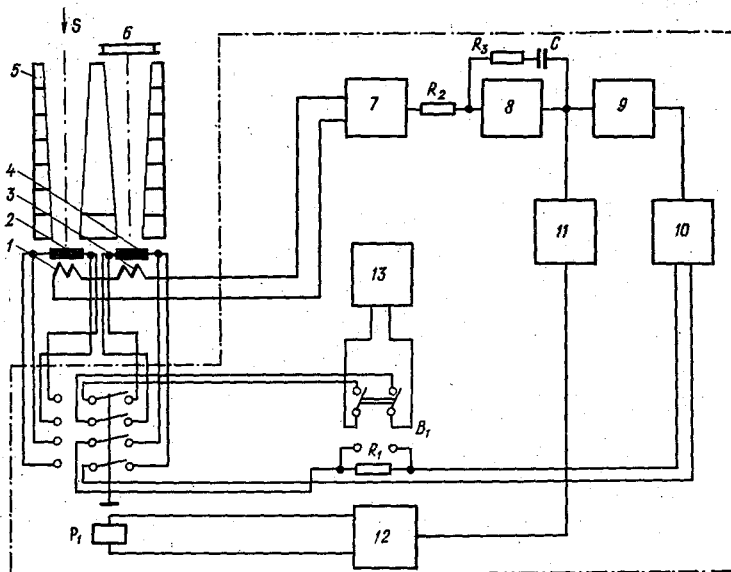


Рис.3. Функциональная электрооптическая схема.

1 - термобатарея I канала, 2 - тонкопленочный нагреватель, 3 - термобатарея II канала, 4 - тонкопленочный нагреватель, 5 - апертурная трубка, 6 - экран, 7 - усилитель сигнала рассогласования, 8 - интегрирующий усилитель, 9 - схема выделения модуля, 10 - усилитель мощности, 11 - нуль-орган, 12 - схема коммутатора, 13 - цифровой вольтметр Ф 2002, R_1 - резистор измерения тока компенсации, R_2 и R_3 - резисторы режима работы интегрирующего усилителя, C - емкость, B_1 - переключатель цепи измерения тока и напряжения (U, I), P_1 - реле.

на вход усилителя рассогласования 7 (Ф7028М/2), усиливающего сигнал до значения, достаточного для воздействия на последующие схемы систем. Усиленный сигнал разности подается на астатическое звено. В качестве астатического звена используется интегрирующий усилитель

8, собранный на микросхеме К140УДИБ, который выполняет функцию инвертирующего интегратора. Это достигается тем, что в цепь обратной связи операционного усилителя включена емкость C (10 мкФ); для увеличения быстродействия системы в цепь обратной связи операционного усилителя введено сопротивление R_3 (100 кОм), действующее в переходном режиме. Постоянная времени зависит от емкости C и резистора R_3 (470 кОм).

Сигнал с выхода интегрирующего усилителя поступает на схему нуль-органа И1, собранного на той же микросхеме. Нуль-орган работает в режиме порогового устройства, что достигается введением положительной обратной связи. Уровень срабатывания нуль-органа составляет примерно 0,1 В. Нуль-орган в зависимости от знака сигнала рассогласования вырабатывает сигнал, который управляет коммутатором И2. Коммутатор состоит из эмиттерного повторителя и ключа. Нагрузкой ключа служит реле P_1 , контакты которого подключают ток компенсации на тот или иной нагреватель, а также коммутируют цепи измерения тока $I_1 \sim I$ и напряжения U_1 нагревателей. С интегрирующего усилителя сигнал поступает также на схему выделения модуля 9. Данная схема преобразует разнополярные сигналы в однополярные.

Схема выделения модуля представляет собой выпрямитель, собранный на двух микросхемах (К140ДИБ). Первый каскад усиливает сигнал только положительной полярности. Это достигается тем, что в цепь обратной связи усилителя введен диод. Второй каскад является суммирующим усилителем. Сигнал на выходе системы выделения модуля всегда положителен, пропорционален значению выходного сигнала и не зависит от его полярности.

Сигнал со схемы выделения модуля поступает на усилитель мощности И0. Усилитель мощности состоит из двух каскадов: эмиттерного повторителя и оконечного каскада. Эмиттерный повторитель, собранный на транзисторе КТ 312Б, предназначен для согласования схемы выделения модуля с оконечным каскадом. Нагрузкой оконечного каскада, собранного на базе транзистора КТ 611Б, является один из тонкопленочных нагревателей, затененный экраном.

Мощность замещения в момент компенсации определяется посредством измерения напряжения U_1 на нагревателе и напряжения U_2 , пропорционального току нагревателя, измеряемого на резисторе R_1 . Соответствующие подключения цифрового вольтметра И3 производятся вручную переключателем В. Выбор тонкопленочного нагревателя с целью подачи на него мощности замещения осуществляется схемой автоматически, сразу же после перевода экрана с одного канала на другой.

Измерение энергетической освещенности пиргелиометром производится в соответствии с известными методиками / 3 /, т.е. путем

многократных отсчетов при переменном затенении экраном измерительных каналов пиргелиометра. Энергетическая освещенность S (прямая солнечная радиация) определяется по следующей формуле:

$$S = k \bar{U}_1 \bar{U}_2, \quad (1)$$

где k - переводный множитель, $\bar{U}_1$ - среднее значение ряда измерений напряжения, приложенного к соответствующему нагревателю;

$\bar{U}_2$ - среднее значение ряда измерений напряжения, пропорционального току, протекающему через нагреватель.

В заключение следует отметить некоторые важные особенности пиргелиометра ППГ-I. В этом приборе применены термобатареи со значительно большим коэффициентом преобразования (см. таблицу), чем у существующих пиргелиометров Ангстрема, что позволяет снизить требования к чувствительности нуль-органов. В пиргелиометре применена круглая апертура, что позволяет снизить требования к нормам прозрачности атмосферы, облачности и точности его нацеливания на Солнце при поверках актинометров. Пиргелиометр совместим с пиргелиометром М-59 и актинометром М-3, так как форма апертуры, соотношение углов и отверстий у них практически идентичны.

Применение схемы Гилхама при измерениях мощности замещения позволяет практически исключить влияние температуры окружающей среды на тепловой блок (приемники излучения), что выгодно отличает ППГ-I от пиргелиометров Ангстрема / I /.

Применение в комплекте ППГ-I прибора с цифровым отсчетом и автоматизация процесса электрического уравнивания позволяет значительно упростить процесс наблюдения. Использование в ППГ-I высокотеплопроводных термобатарей при принятой системе диафрагмирования дает возможность уменьшить влияние ветра на показания прибора в большей степени, чем это возможно в пиргелиометре Ангстрема.

Пиргелиометр ППГ-I подвергнут Государственным приемочным испытаниям и рекомендован к промышленному изготовлению.

Список литературы

1. Клеванцова В.А. Оценка влияния температуры на точность пиргелиометрических измерений. - Труды ГГО, 1969, вып. 240, с. 161-164.

2. Кмито А.А., Складов Ю.А. Пиргелиометрия. - Л.: Гидрометеоздат, 1981.

3. Методические указания. Образцовые пиргелиометры ОСИ I-го и 2-го рядов. Методы и средства поверки. Исп. В.А. Клеванцова, И.А. Покровская. ГГО, 1979 г.

4. Преобразователь теплового потока МТС-II. Теплофизические

и комплектные лаборатории (каталог на рус. и нем. яз.) Внешторг-издат, № 10-4018, с.20.

5. Янишевский Ю.Д., Зачек С.И., Дупько Л.В. Образцовый пиргелиометр второго разряда. - Труды ИГО, 1980, вып.445, с.128-133.

6. Eppley Angström pyrheliometer (каталог № АНС фирмы The Eppley Laboratory, Inc., США).

К.И.Ромашкина

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ ПО СЕТЕВЫМ ОЗОНОМЕТРАМ М-83 ДО И ПОСЛЕ ИХ МОДЕРНИЗАЦИИ

Вопросы точности и стандартизации измерений общего содержания озона (ОСО), а также однородности имеющихся рядов наблюдений на мировой сети озонметрических станций стали вызывать повышенный интерес в связи с исследованием возможных изменений озонового слоя под действием факторов антропогенного происхождения на фоне его естественной изменчивости. Важным представляется также вопрос об однородности более чем 20-летних рядов наблюдений за ОСО на 45 советских станциях, что составляет почти половину станций северного полушария. Этот вопрос требует рассмотрения по следующим причинам. Во-первых, на зарубежных станциях используется в основном спектрофотометр (с/ф) Добсона (пара длин волн АП), а на советских - фильтровый озонметр М-83, который до его модернизации в 1971-1972 гг. обладал значительной переменной систематической погрешностью. Во-вторых, до 1969 г. градуировка М-83 проводилась по с/ф Добсона № 9 (пара длин волн С), после 1969 г. - по с/ф Добсона № 108 (пара длин волн АД).

Вопрос о погрешности данных об ОСО, полученных на советских станциях до 1973 г., уже неоднократно обсуждался / I-4, IO-I2 /, однако по ряду причин, которые будут указаны ниже, к нему следует снова вернуться. Особенностью озонметрических наблюдений, в частности, фильтровыми озонометрами М-83 является преимущественное преобладание систематических погрешностей над случайными. К появлению систематической погрешности приводят следующие постоянно действующие причины: 1) неучет селективности аэрозольного ослабления, 2) погрешность определения спектральных характеристик озонметра, 3) погрешность определения зависимости пропускания светофильтров от температуры, 4) погрешность прибора, используемого в качестве эталона для градуировки озонметров.

Каждая из перечисленных причин вносит вклад в систематическую

погрешность и проявляется в процессе наблюдений в виде ложного суммарного хода ОСО того или иного знака и значения. Суммарное действие этих систематических погрешностей, которые при их различном сочетании могут в большей или меньшей степени усилить или нейтрализовать друг друга, приводит к тому, что каждый озонметр обладает своей суммарной систематической погрешностью. Ее знак и значение зависят от условий наблюдений (рабочего диапазона высот Солнца и характеристик атмосферного аэрозоля).

Оценить отдельно вклад каждого вида погрешности в суммарную погрешность трудно. Теоретические расчеты показывают, что замена в модернизированном озонметре М-83 (для краткости в дальнейшем будем обозначать М-83М) светофильтров на более коротковолновые и сдвинутые друг к другу по спектру уменьшает вклад погрешности за счет неучета селективности аэрозольного ослабления более чем в 3 раза / 4 /; использование более совершенного оборудования, ЭЭМ а также улучшение методик определения постоянных прибора позволило свести к возможному минимуму вклад второго и третьего видов погрешности в суммарную погрешность М-83М, который до его модернизации мог быть существенным.

Кроме модернизации М-83, большое значение для повышения точности и однородности данных об ОСО на советских станциях имело использование для градуировки М-83М с/ф Добсона № 108 (пара длин волн АВ). Озонметры М-83 до модернизации в 1960-1968 гг. градуировались по с/ф Добсона № 9 (пара длин волн С), а в 1969-1972 гг. - по с/ф Добсона № 108.

Как показывают теоретические расчеты, предельная погрешность с/ф Добсона при использовании пары длин волн АВ составляет 6 %, а пары С - 20 % / 10 /. Непосредственное сравнение спектрофотометров Добсона № 9 и № 108, которое проводилось в 1969 г. в течение нескольких дней, показало, что отклонения друг от друга средних дневных значений ОСО, измеренных названными приборами, находились в пределах +11...-10 % / 3 /.

Спектрофотометр Добсона № 108 в 1974 и 1978 гг. сравнивался также со с/ф Добсона № 83 (США), который по решению Озонной комиссии ЕМО был принят за условный мировой эталон, главным образом потому, что определение его внеатмосферной спектральной постоянной производится в условиях оптически чистой и стабильной атмосферы на Мауна-Лоа (Гавайские острова) / 3, 7 /. Таким образом, шкала условного мирового эталона через с/ф Добсона № 108 была перенесена на все сетевые озонметры М-83М.

Подобной эталонной службы в 60-е годы не существовало, внеатмосферная спектральная постоянная с/ф Добсона № 9 каждый год определялась в условиях Ленинградской области (пос. Воейково). Поэтому по-

нятно, что только по одним проведенным в течение нескольких дней сравнениям спектрофотометров Добсона № 9 и № 108 трудно судить о погрешности, которой обладают наблюдения по с/ф Добсона № 9 во все предшествующие годы. Следовательно, погрешность с/ф Добсона № 9 также может вносить существенный вклад в суммарную погрешность М-83.

О количественном значении суммарной погрешности отдельных озонметров М-83, проявляющейся в определенных условиях наблюдений, можно судить по результатам нескольких сравнений М-83 (до его модернизации) со с/ф Добсона (пара длин волн АD), собранных воедино, в / 3 /. Сравнение отклонений средних дневных значений ОСО, измеренных М-83, относительно ОСО, измеренных с/ф Добсона, проведенное в течение нескольких дней, дало следующие результаты: $-1,6...-20,9\%$; $+20...-6,9\%$; $+4,1...-14,5\%$. Более длительные (в течение года) сравнения М-83 со с/ф Добсона проводились Божковым, максимальные отклонения средних дневных значений ОСО по М-83 от значений ОСО по с/ф Добсона в этом случае достигали примерно -30% .

Но как видно из вышесказанного, эти результаты не могут служить количественной оценкой погрешности, с которой были получены данные об ОСО на всей сети станций в период использования немодернизированного озонметра М-83 в 1960-1972 гг. Модернизация озонметра М-83 и использование более совершенного оборудования и методики при градуировке намного снизили его погрешность. Длительные параллельные наблюдения, проводимые в ГГО, показали, что отклонение средних дневных значений ОСО по М-83М от значений ОСО по с/ф Добсона не превышает $5-8\% / 4 /$. Результаты непосредственного сравнения измерений М-83М № 121 с измерениями спектрофотометрами Добсона № 82 и № 63 (США) подтвердили это значение суммарной погрешности озонметра М-83М; расхождение средних дневных значений ОСО, измеренных этими приборами, было в пределах $+1,7...-5,3\% / 6 /$.

Подтверждением тому, что единая шкала измерений поддерживается с такой же погрешностью всеми сетевыми М-83М, могут служить результаты сравнения показаний двух М-83М, сменяющих друг друга каждые два года на каждой станции / 10 /. Следует также подчеркнуть, что намного была повышена точность зенитных измерений ОСО озонметром М-83М. Отклонения значений ОСО, полученных по зенитным наблюдениям, от результатов солнечных наблюдений составляют $\pm 5\% / 3, 10 /$.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что из-за многообразия причин, обуславливающих появление переменной систематической погрешности и неопределенности ее проявления, трудно дать количественную оценку искажений, которые были привнесены в данные об ОСО на сети станций при использовании М-83 до его модернизации. Но в настоящее время, когда уже имеются 8-9-летние ряды наблюдений полученных с помощью М-83М, появилась возможность сделать косвен-

ную оценку этих искажений, применив метод сопоставления рядов наблюдений, используемый в климатологической практике, что и является задачей данной работы.

Метод заключается в том, что для выявления и возможного устранения неоднородности рядов проводится сопоставление по годам результатов наблюдений либо одной и той же станции, если естественная изменчивость рассматриваемого элемента меньше неоднородности рядов, вызванных какими-либо другими причинами, либо близлежащих станций, если заведомо известно, что закономерности изменения элемента одинаковы и один из сравниваемых рядов однороден / 5 /.

В качестве сопоставляемого элемента в нашей работе будет использоваться $\bar{X}$ — среднее месячное значение ОСО по советским и зарубежным данным / 9, 13 /. Эта величина отчетливо отражает сезонный ход ОСО и его естественную изменчивость от года к году.

Целесообразным представляется сначала сделать оценку погрешности с/ф Добсона № 9, шкала которого определяет шкалу М-83. Проведем сопоставление рядов наблюдений для станции Ленинград, где, как в центре градуировки сетевых озонметров, наблюдения велись с использованием спектрофотометров Добсона № 9 и № 108. Сопоставление будет проводиться только для мая-сентября, поскольку, во-первых, градуировка сетевых озонметров осуществлялась в основном в эти месяцы, и во-вторых, в другие месяцы большая часть наблюдений проводилась по зениту неба и с использованием озонметров М-83.

Для проведения сопоставления были вычислены $\bar{X}$ — средние месячные значения ОСО, осредненные за периоды наблюдений по с/ф Добсона № 9 в 1960-1968 гг.^{*} и с/ф Добсона № 108 в 1969-1980 гг., максимальные и минимальные отклонения $\bar{X}$ относительно $\bar{X}$ для каждого периода — $\Delta X_{\max} \%$ и $\Delta X_{\min} \%$ и различие $\bar{X}$ за периоды наблюдений по этим приборам — $\Delta \bar{X}$.

Представляет интерес провести сравнение таких же величин для нескольких зарубежных станций, где наблюдения проводились все время по с/ф Добсона (пара длин волн AD). Как видно из табл. I, $\bar{X}$ на зарубежных станциях для первого периода несколько меньше, чем для второго, $\Delta \bar{X} \%$ находятся в пределах +1...-4 %, а для станции Ленинград — в пределах -10...-15 %. Значения $\Delta X_{\max} \%$ и $\Delta X_{\min} \%$ сходны не только для обоих периодов каждой зарубежной станции, но для второго периода станции Ленинград, а для первого периода они в 1,5-2 раза больше. Трудно предположить, что настолько заниженные значения $\bar{X}$, наблюдаемые на станции Ленинград в 1960-1968 гг., а также большая их изменчивость от года к году являются естественной аномалией.

^{*} Регулярные наблюдения по с/ф Добсона № 9 в ГГО были начаты в 1956 г., но в работе используются данные с 1960 г., поскольку это год начала наблюдений по М-83.

Таблица I

Средние месячные характеристики ОСО на ряде станций, осредненные за периоды 1960-1968 гг.
и 1969-1980 гг.

Характеристика	Ленинград				Окфорд				Ароза				Сашоро			
	У	УІ	УІІ	ІХ	У	УІ	УІІ	ІХ	У	УІ	УІІ	ІХ	У	УІ	УІІ	ІХ
1960-1968 гг.																
$\bar{X}$	354	320	301	288	268	392	366	360	341	310	362	342	326	314	297	389
$\Delta X_{\max}$	8	9	16	12	11	4	4	5	6	8	3	4	3	2	4	4
$\Delta X_{\min}$	-8	-6	-8	-15	-13	-4	-3	-5	-6	-5	-6	-5	-4	-4	-5	-5
1969-1980 гг.																
$\bar{X}$	392	369	344	326	313	406	384	361	343	318	364	351	328	316	297	399
$\Delta X_{\max}$	9	3	7	8	4	3	5	5	4	6	5	5	4	7	5	5
$\Delta X_{\min}$	-6	-4	-8	-6	-5	-4	-9	-5	-4	-7	-4	-2	-4	-3	-5	-5
ΔX	-10	-13	-13	-15	-14	-3	-4	0	-1	-2	-1	-3	-1	-1	0	-2

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3 X выражено в мм-см, ΔX - в %.

Очевидно, это следствие того, что уровень шкалы измерений с/ф Дробсона № 9 был ниже и не оставался постоянным от году к году относительно уровня шкалы с/ф Дробсона № 108, т.е. с/ф Дробсона № 9 обладал переменной систематической погрешностью. Таким образом, вклад этого вида погрешности в суммарную погрешность М-83 может быть ориентировочно оценен значением $-8...-13\%$.

Теперь рассмотрим проявление суммарной погрешности озонометра М-83 на примере нескольких станций: Феодосия, Нагаево, Печора, Омск, Душанбе. Более подробно рассмотрим результаты наблюдений на станции Феодосия. Это связано с тем, что в период с 1965 по 1973 гг. градуировка сетевых озонометров проводилась именно там, а не в Ленинграде, и в качестве вторичного эталона использовался прибор этой станции. В период с 1965 по 1968 гг. это был М-83, а с 1969 по 1973 гг. — с/ф Дробсона № 9 и М-83М, оба отградуированные по с/ф Дробсона № 108. Исходя из таких обстоятельств, сопоставление рядов наблюдений за ОСО на станции Феодосия проведено по периодам: 1964-1968 г., 1969-1972 г., и 1973-1978 г. В табл.2 представлены средние месячные значения $\bar{X}$ за все годы рассматриваемых периодов, а также $\bar{X}$, $\Delta X_{\max}\%$ и $\Delta X_{\min}\%$ для каждого периода и $\Delta X\%$ — отклонение $\bar{X}$ первого и второго периодов относительно третьего. Как показывает табл.2, при проведении наблюдений с использованием М-83М в третий период отмечается небольшое различие $\bar{X}$ по годам, особенно в летние и осенние месяцы, что обычно бывает на станциях средних и южных широт. Значения $\Delta X_{\max}\%$ и $\Delta X_{\min}\%$ для станций Феодосия, Ароза, Сапшоро находятся практически в одних пределах.

Сопоставление $\bar{X}$ первого (наблюдения по озонометрам М-83, отградуированным по с/ф Дробсона № 9) и третьего (наблюдения по М-83М) периодов показывает, что $\Delta X\%$ в течение всего года остается отрицательным, а по абсолютному значению несколько превышает, кроме января — марта, систематическую погрешность с/ф Дробсона № 9. Однако изменчивость $\bar{X}$ по годам очень велика, а $\Delta X_{\max}\%$ и $\Delta X_{\min}\%$ превышают соответствующие значения третьего периода в 2-5 раз. Этот факт как раз и является отражением больших различий суммарной погрешности отдельных озонометров М-83. Поскольку в этот период градуировка сетевых озонометров производилась на станции Феодосия, то различия их систематических погрешностей могли находиться в таких же или больших пределах.

Для станций Нагаево, Печора, Омск, Душанбе сопоставление проводилось по характерным трехлетним периодам: 1964-1966 гг. (наблюдения по озонометрам М-83, отградуированным по с/ф Дробсона № 9), 1970-1972 гг. (наблюдения по М-83, отградуированным по с/ф Дробсона № 108, но через вторичный эталон на станции Феодосия) и 1979-1981 гг. (наблюдения по М-83М, отградуированным непосредствен-

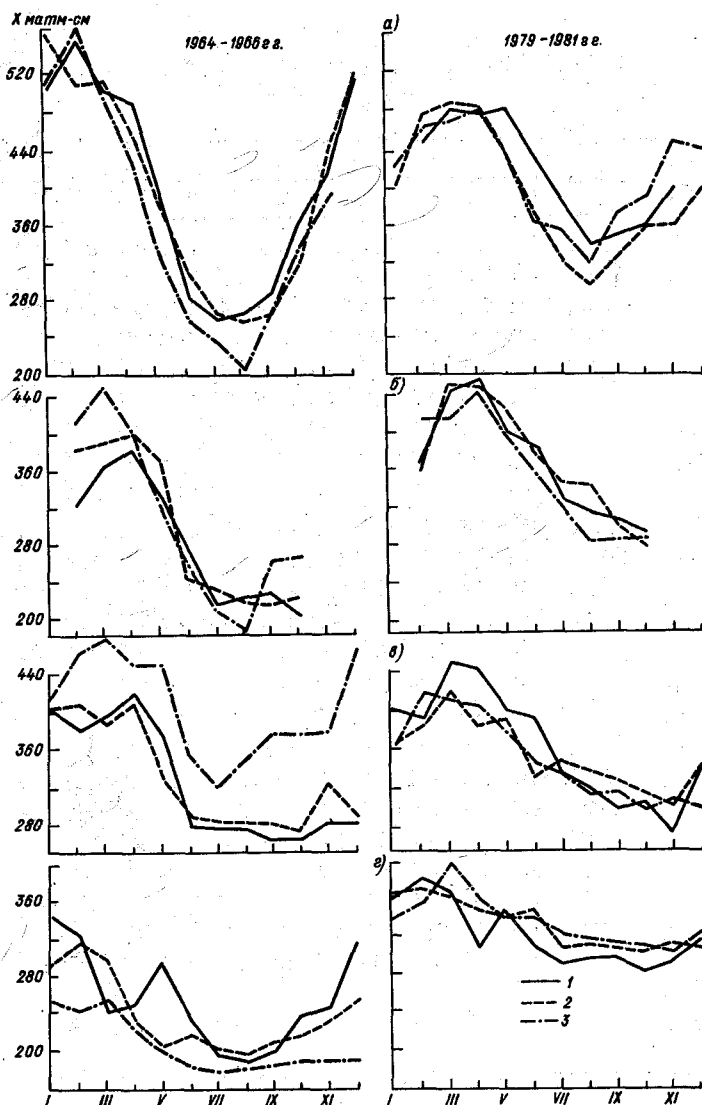
Таблица 2

Средние месячные значения ОСО на станции Феодосия
в разные периоды

Характеристика	Годы	М е с я ц											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
X	1964	343	422	361	365	330	273	286	311	276	227	229	226
	1965	269	351	343	373	347	329	292	244	231	258	267	295
	1966	344	305	340	315	322	324	279	285	343	286	319	377
	1967	478	448	442	349	395	296	328	300	258	253	285	300
	1968	371	326	360	294	254	317	309	356	295	300	249	320
	$\bar{X}$	361	370	369	339	330	308	299	299	280	265	270	304
$\Delta X_{\max}$		32	21	20	10	20	7	10	19	22	13	18	24
$\Delta X_{\min}$		-25	-18	-8	-13	-23	-11	-7	-18	-18	-14	-15	-26
$\Delta \bar{X}$		-4	-3	-6	-14	-13	-17	-13	-10	-12	-14	-17	-13
X	1969	423	388	385	404	358	395	356	321	311	284	314	353
	1970	346	412	401	410	408	385	351	345	321	319	344	361
	1971	347	424	436	413	385	442	348	330	288	281	287	330
	1972	349	335	341	306	373	364	334	311	309	288	302	320
	$\bar{X}$	366	390	391	383	381	397	348	327	307	293	312	341
	$\Delta X_{\max}$	16	9	11	8	7	11	2	6	5	9	10	6
$\Delta X_{\min}$		-5	-14	-13	-20	-6	-8	-7	-5	-6	-4	-8	-6
$\Delta \bar{X}$		-2	2	-1	-2	0	7	1	-2	-4	-5	-4	-2
X	1973	363	379	393	381	377	388	351	341	315	309	342	355
	1974	378	389	379	410	378	365	342	333	317	301	318	356
	1975	-	378	384	359	368	348	343	339	332	326	339	355
	1976	372	380	391	371	355	356	352	325	326	308	310	342
	1977	384	397	428	428	421	372	337	324	322	310	316	336
	1978	378	376	387	410	386	390	347	337	306	-	-	-
	$\bar{X}$	375	383	394	393	381	370	345	333	319	310	325	349
	$\Delta X_{\max}$	2	4	9	9	10	5	2	2	4	4	4	2
$\Delta X_{\min}$		-7	-2	-4	-9	-7	-6	-2	-3	-4	-3	-5	-4

но по с/ф Добсона № 108). Для большей наглядности X для этих станций для первого и третьего периодов представлены на рисунке, а $\bar{X}$ по периодам и $\Delta \bar{X}\%$ — отклонения $\bar{X}$ первого и второго периодов относительно третьего — в табл.3.

Как видно из материалов, представленных на рисунке и в табл.3, значения $\Delta \bar{X}\%$ для первого и второго периодов имели ясно выражен-



Средние месячные значения ОСО для станций
 Нагаево (а), Печора (б), Омск (в), Душан-
 бе (г) за 1964-1966 гг. (соответственно
 1-3) и 1979-1981 гг. (соответственно 1-3).

Таблица 3

Средние месячные значения ОСО на ряде станций в разные периоды

Период, годы	Харак- тери- стика	М е с я ц											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Н а г а е в о													
1964-1966	$\bar{X}$	527	548	505	457	362	284	253	240	270	338	412	518
	$\Delta\bar{X}$	3I	I8	5	-5	-20	-27	-28	-2I	-22	-8	4	25
1970-1972	$\bar{X}$	438	450	489	484	396	333	293	283	278	328	374	394
	$\Delta\bar{X}$	7	-3	2	I	-I2	-I4	-I7	-IO	-I9	-II	-6	-5
1979-198I	$\bar{X}$	4IO	463	479	480	450	389	352	3I5	346	367	398	4I5
П е ч о р а													
1964-1966	$\bar{X}$	-	376	404	395	345	260	224	206	239	235	-	-
	$\Delta\bar{X}$	-2	-8	-I3	-I8	-3I	-34	-36	-22	-I9	-	-	-
1970-1972	$\bar{X}$	-	488	477	475	442	386	33I	307	305	3I3	-	-
	$\Delta\bar{X}$	2I	7	4	5	2	2	-4	0	7	-	-	-
1979-198I	$\bar{X}$	-	385	442	454	4I9	378	339	320	305	292	-	-
О м с к													
1964-1966	$\bar{X}$	407	422	425	429	387	3IO	296	3II	3I7	308	339	356
	$\Delta\bar{X}$	6	4	-2	3	-3	-I4	-I4	-5	-I	-I	I3	5
1970-1972	$\bar{X}$	424	482	458	4I9	406	372	333	343	357	343	35I	354
	$\Delta\bar{X}$	II	I9	5	0	2	3	-3	4	I2	IO	I7	7
1979-198I	$\bar{X}$	383	404	434	4I8	398	36I	345	329	3I9	3II	299	330
Д у ш а н б е													
1964-1966	$\bar{X}$	30I	295	267	236	248	2I4	I94	I90	200	2I6	224	255
	$\Delta\bar{X}$	-I7	-2I	-29	-30	-29	-37	-38	-40	-36	-29	-27	-24
1970-1972	$\bar{X}$	373	375	350	3I8	3I4	3II	308	282	275	272	286	30I
	$\Delta\bar{X}$	2	0	-7	-6	-IO	-8	-2	-IO	-II	-II	-7	-7
1979-198I	$\bar{X}$	363	375	376	338	349	339	3I4	3I5	3II	306	309	323

ный годовой ход, что является отражением ложного суточного хода ОСО, обусловленного суммарной систематической погрешностью М-83. Значительное уменьшение по абсолютному значению $\Delta\bar{X}\%$ для второго периода связано с тем, что градуировка М-83 осуществлялась по с/ф

Добсона № 108, т.е. в этом случае проявлялась суммарная погрешность М-83, обусловленная в основном погрешностями определения его спектральных и температурных характеристик и условиями наблюдений на станциях. Влияние вторичного эталона было незначительным, что видно из сопоставления значений $\bar{X}$ на станции Феодосия (см. табл.2) в июне-августе второго и третьего периодов (именно в эти месяцы здесь проводилась градуировка М-83).

При некоторой общности изменений $\Delta\bar{X}\%$ в течение года обращает на себя внимание неодинаковый характер годового хода $\Delta\bar{X}\%$ на разных станциях и отсутствие зависимости годового хода и абсолютных значений $\Delta\bar{X}\%$ от широты станций. Из рисунка следует, что различия $\bar{X}$ от года к году в первом периоде были больше, чем в третьем периоде, в 2-3 раза. Все это говорит о больших пределах, в которых могла изменяться суммарная погрешность отдельных озонметров, и в силу ее неопределенности трудно дать ей количественную оценку. По приведенным материалам, наибольших значений $\Delta\bar{X}\%$ достигали на станции Нагаево в зимний период (25-30 %), а наименьших - на станции Душанбе в летний период (-35...-40 %).

Выявление характера неоднородности рядов наблюдений за ОСО на сети советских станций показало, что использовать данные об ОСО без введения каких-либо поправок / 8 / или с введением одной поправки / 12 / неправомерно.

Очень сложное проявление искажений, которые были привнесены в данные об ОСО в разные годы, вызывает необходимость искать какие-то другие способы для их устранения.

Список литературы

1. Гущин Г.П. К методике введения аэрозольной поправки в результаты измерений общего содержания атмосферного озона. - Труды ГГО, 1969, вып.237, с.69-80.
2. Гущин Г.П. Об аэрозольной погрешности данных общего содержания атмосферного озона, полученных на озонметрических станциях СССР. - Труды ГГО, вып.237, с.81-86.
3. Гущин Г.П. К методике измерений общего содержания атмосферного озона на мировой сети станций. - Труды ГГО, 1978, вып.406, с.63-75.
4. Гущин Г.П., Ромашкина К.И., Шаламянский А.М. Опыт измерения общего содержания озона модернизированным озонметром М-83 в Воейково в 1971-1974 гг. - Труды ГГО, 1976, вып.357, с.106-120.
5. Кобышева Н.В., Наровлянский Г.Я. Климатологическая обработка метеорологической информации. - Л.: Гидрометеиздат, 1978, с.74-86.

6. Ковалев В.А., Ромашкина К.И., Елисеев А.А. Сравнение приборов для измерения общего содержания атмосферного озона на фоновой станции Мауна-Лоа. - Метеорология и гидрология, 1978, № 6, с.110-113.

7. Ковалев В.А., Соколенко С.А. Сравнения образцовых озонометрических приборов СССР. - Труды ИГО, 1980, вып.445, с.69-72.

8. Перов С.П., Хргиан А.Х. Современные проблемы атмосферного озона. - Л.: Гидрометеоздат, 1980, с.205-212.

9. Общее содержание атмосферного озона и спектральная прозрачность атмосферы. Справочные данные по станциям СССР. - Л.: Гидрометеоздат, 1978-1981.

10. Шаламянский А.М., Ромашкина К.И. Некоторые вопросы методики измерения общего содержания озона на сети озонометрических станций. - Труды ИГО, 1980, вып.445, с.116-123.

11. Bojkov R.B. Differences in Dobson spectrophotometer and filter ozonometer measurements of total ozone.-J.Appl. Meteorol., 1969, vol.8 N 3, p.362-368.

12. Hasebe F. A global analysis of the fluctuation of total ozone. 1. Application of the optimum interpolation to the network data with random and systematic errors. - J. of the Meteorol. Soc. of Japan. 1980, vol.58, N 2, p.95-103.

13. Ozone data for the world. Canada, Ontario, 1964-1980.

Д.А.Тайц, Ю.Д.Горбенко, С.И.Зачек,
Л.В.Луцько

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ БАЛАНСОМЕР БП-I

Балансомер БП-I предназначен для преобразования разности между энергетической освещенностью и излучательностью земной поверхности в электрический сигнал постоянного тока и является первичным актинометрическим прибором для аналоговых и цифровых систем измерения и регистрации. Так же как пиранометр ПП-I и актинометр АП-I, балансомер найдет применение на гидрометеорологических и агрометеорологических станциях, станциях фоновой и климатического мониторинга, в биосферных заповедниках и других областях.

Как показали исследования, погрешности измерения радиационного баланса на гидрометеорологических станциях из-за некоторых недостатков стандартного балансомера могут существенно превышать основную погрешность (15 %) /5/, оговоренную в нормативно-технической документации этого прибора /6/. Анализ разработок, выполненных у нас /2,4/, а также рассмотрение различных типов серийно выпускаемых за рубежом балансомеров /10/ позволили прийти к заключению, что на основе

достигнутого в этой области технического и технологического прогресса имеется реальная возможность создания балансомера с улучшенными характеристиками. Практически все типы зарубежных балансомеров герметизированы и снабжены полиэтиленовыми колпаками, которые играют роль ветровой защиты и предохраняют приемник от пыли и гидрометеоров. Стандартизованы лакокрасочные покрытия приемника, в основном применяется лак Парсонса, уменьшена спектральная селективность балансомеров. В ряде случаев применяется температурная компенсация коэффициента преобразования.

Показатели назначения балансомера, разработанного ГСКБ, теплофизического приборостроения при участии ГГО, приведены в таблице.

Таблица

Показатели назначения БП-I

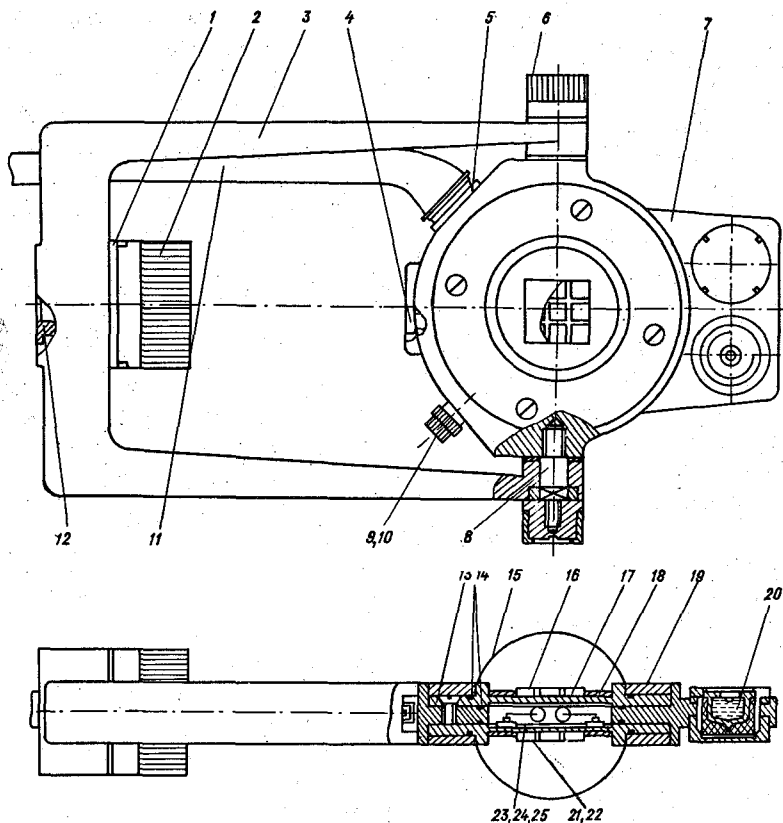
Технические данные и характеристики	Допускаемое значение
Диапазон преобразования энергетической освещенности в области спектра электромагнитного излучения 0,3-60 мкм, кВт/м ⁻²	-0,4 - +1,1
Интегральный коэффициент преобразования при нормальных условиях, мВ·м ² /кВт	Не менее 80
Время установления выходного сигнала, с	Не более 50
Выходное сопротивление при нормальных условиях, Ом	100 ± 20
Угол зрения, градусы	180
Предел приведенной основной допускаемой погрешности преобразования энергетической освещенности, %	10
Поправочные множители F_h для приведения результатов измерений энергетической освещенности к закону косинусов при различной высоте Солнца h°	
h°	15 20 30 40, 50, 60 90
F_h	$1 \pm 0,2$ $1 \pm 0,15$ $1 \pm 0,1$ $1 \pm 0,06$ $1 \pm 0,00$
Предел дополнительной погрешности, обусловленной изменением коэффициента преобразования в зависимости от температуры, %	3,5 при $t = -40...+50^\circ\text{C}$
Разница коэффициентов преобразования сторон балансомера, %	Не более 2
Изменение коэффициента преобразования балансомера под воздействием ветра, %	Не более 1,5 для скоростей ветра, не превышающих 15 м/с

Технические данные и характеристики	Допускаемое значение
Электрическое сопротивление изоляции между термобатареями и корпусом, МОм	Не менее 0,5
Наработка на отказ, ч	Не менее 5000
Срок службы	Не менее 10 лет
Масса балансомера, кг	Не более 0,9
Диапазон рабочих температур, °С	-40...+50
Избыточное давление при котором сохраняется герметичность, кПа	0,9 ± 0,1

Принцип действия балансомера основан на явлении преобразования энергетической освещенности в тепло, которое имеет место при поглощении измеряемого излучения приемной площадкой термочувствительного элемента / 3 /. Получение выходного сигнала, пропорционального значению радиационного баланса, достигается путем встречно-последовательного включения термоэлектрических батарей, находящихся под приемными площадками соответственно верхней и нижней сторон балансомера.

Конструкция балансомера показана на рисунке. Балансомер состоит из корпуса 6 с приемниками I7,22 и держателя 3. Кроме того, в его комплект входит чехол и устройство для поддержания избыточного давления под полиэтиленовым колпаком. Основными узлами прибора являются приемники I7 и 22, установленные соосно на нижней и верхней частях корпуса. Каждый приемник состоит из девяти модулей МТС-II / 9 / I6, которые «холодными» спаями приклеены к металлическому основанию — крышке 20. К «горячим» спаям приклеена медная приемная пластина 23 (0,035 мм), окрашенная с наружной стороны глубокоматовой эмалью АК-5I2 (либо АК-243) / 8 /. Для обеспечения необходимой плоскостности модули подбираются по высоте (отклонение ±0,05 мм). Размер приемной пластины I7хI7 мм. Коммутация модулей выполнена на обратных сторонах крышек 20. Для уменьшения влияния засветки в углублении крышки установлен экран I5 с квадратным вырезом для размещения термобатареи. Размер выреза I7,5хI7,5 мм. Приемная поверхность термобатареи утоплена на глубину I мм в крышке 20, что позволяет применять также плоское полиэтиленовое окно.

Приемники установлены в корпусе 6 балансомера. Для герметизации применены резиновые прокладки I9. Улучшение термического контакта между крышками 20 и корпусом 6 достигается с помощью теплопроводной пасты КПТ-8. В качестве ветровой защиты используются полиэтиленовые колпаки I8 радиусом I9 мм, которые закрепляются в корпусе 6 с помощью плоских колец I4 и четырех винтов 24.



Балансомер БП-1.

1 - прокладка, 2 - ручка, 3 - держатель, 4 - окно силика-
гелевого патрона, 5 - сальниковое уплотнение, 6 - ручка,
7 - корпус, 8 - ось, 9 - втулка, 10 - шпиль, 11 - кабель,
12 - втулка, 13 - крышка, 14 - прокладка, 15 - полиэтиле-
новый колпак, 16 - приемник, 17 - модуль МТС-П, 18 - экран,
19 - кольцо, 20 - уровень, 21 - приемник, 22 - медная плас-
тина, 23 - монтажная плата, 24, 25 - резисторы.

В полости корпуса на монтажных платах монтируются резисторы 9 и 10. Предусмотрена возможность выпуска балансомеров без встроенных резисторов, для чего в комплект прибора включен разъединитель (контактная колодка в герметизированном корпусе), в который могут быть смонтированы эти резисторы. В разъединителе имеется сальниковый ввод для кабеля измерительного прибора. Применение разъединителя исключает необходимость разработки балансомера при смене резисторов.

Съем электрического сигнала с термобатарей производится с помощью трехжильного кабеля 24 в резиновой оболочке. Ввод кабеля осуществлен через герметичный сальник 7. В балансомере кабель подсоединен к контактам на монтажных платах 8. Другим концом этот кабель может быть подключен либо к измерительному прибору, либо к разъединителю. Прибор снабжен камерой для влагопоглотителя гранулированного индикаторного силикагеля. Контроль за состоянием (цветом) силикагеля производится через окно 4.

Горизонтальность установки балансомера контролируется с помощью одного из двух уровней 13, установленных на верхней и нижней плоскостях выступа корпуса. Избыточное давление для поддержания сферической формы полиэтиленового колпака осуществляется путем подкачки воздуха через шипельное устройство 11, 12 с помощью баллона для перекачивания газа (ТУ 38 10670-75). Балансомер снабжен резиновым баллоном, трехметровой трубкой и штуцерами. Избыточный объем воздуха в баллоне позволяет длительное время компенсировать утечку воздуха из-за некоторого нарушения герметичности. Резиновый баллон размещается у основания балансомерной стойки в деревянном контейнере.

Корпус 6 с приемниками закреплен в металлическом держателе 3 на полусах 21 с резьбовыми ручками 5, что позволяет разворачивать балансомер относительно его поперечной оси. Резьбовое отверстие М10 на втулке 25 служит для крепления балансомера к актинометрическим стойкам, теневым кольцам, а также шарнирным держателям / 7 /. Поворот балансомера относительно продольной оси производится вращением держателя на втулке 25 при слегка отвернутой ручке 2.

В комплект балансомера включены шарнирное устройство с теньвым экраном для срочных наблюдений, а также приспособления для установки балансомера в трубе П0-П1 при градуировках в естественных условиях. Балансомер может использоваться с регистраторами КСП-4, цифровыми вольтметрами типа В7-21, стрелочными микроамперметрами М1692, интеграторами, другими электроизмерительными приборами. Порядок подключения и выбора согласующих резисторов изложены в работе / 3 /. Для микроамперметра М1692 с пределами 100-0-100 мкА и падением напряжения 22 мВ при токе полного отклонения последовательно измерительному прибору необходимо включить резистор 660 Ом и зашунтировать эту цепь резистором 383 Ом. Расчет произведен исходя из

данных таблицы.

В связи с тем что балансомер БП-I снабжен двумя приемниками излучения, он может быть использован для раздельного измерения излучения, приходящего из верхней и нижней полушфер. С целью учета собственного излучения прибора в его корпус должен быть установлен термометр (например, термометр сопротивления, термopара и т.п.). Запись электрических сигналов, генерируемых приемниками излучения и преобразователя температуры балансомера, синхронно осуществляется, например, с помощью многоканального регистратора КСП-4. При расчете нисходящего и восходящего излучения используются коэффициенты преобразования каждого из приемников.

Для уменьшения погрешности, обусловленной отличием температуры воздуха, могут быть применены такие способы, как обдув колпачков, прокачка сухого воздуха через внутреннюю полость балансомера и др. / 10 /. Метрологическое обеспечение осуществляется в соответствии с локальной поверочной схемой Госкомгидромета для актинометрических приборов / 6 /.

Балансомер БП-I после Государственных приемочных испытаний рекомендован Госстандартом СССР для серийного производства.

Список литературы

1. Балансомер радиации БМ-I (каталог АН ГДР).
2. Зачек С.И., Капустин В.Ф., Карпов В.Г. и др. О возможностях создания актинометрических приборов на основе полупроводниковых термоэлементов. - Труды ГГО, 1977, вып.384, с.54-61.
3. Зачек С.И., Тайц Д.А., Горбенко Ю.Д. Полупроводниковый термоэлектрический пиранометр ПП-I.-См.настоящий сборник.
4. Капустин В.Ф., Тайц Д.А., Рыбин В.А., Ястребова Т.К. Радиационный полупроводниковый балансомер и его исследования. - Труды ГГО, 1977, вып.384, с.62-73.
5. Лебедева К.Д., Сивков С.И., Ястребова Т.К. О повышении точности измерений радиационного баланса на сети станций - Труды ГГО, 1964, вып.160, с.20-31.
6. Методические указания. Балансомер термоэлектрический типа М-10М. Методы и средства поверки.-Л., 1980, с.3.
7. Методические указания гидрометеорологическим станциям по использованию электронных потенциометров КСП-4 для регистрации составляющих радиационного баланса. - Л.: Гидрометеоиздат, 1978.
8. Справочник конструктора опико-механических приборов / Под ред. В.А.Панова.-Л.: Машиностроение, 1980, с.578.
9. Теплофизические приборы и комплексные лаборатории (каталог на рус. и нем. яз.) Внешторгиздат, № 10-4018, 1981, 20 с.

10. Net Radiometer, Pyrradiometer - Downward, Upward and Net.
(каталог фирмы Weatherromics, США), с.68-69.

В.Н.Цветкова, Н.И.Никитинская

О ФОРМИРОВАНИИ НЕКОТОРЫХ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АТМОСФЕРЫ

Существование аэрозольной составляющей атмосферы, определяющей ее оптические и ряд иных свойств, обусловлено сложным комплексом физических и физико-механических процессов, происходящих в атмосфере. Как известно, в ряде случаев она находит четкое отражение в соответствующих оптических характеристиках, наблюдаемых с земной поверхности. Касаясь свойств невозмущенной атмосферы и отвлекаясь от сложных механизмов формирования мутности (в частности, не учитывая антропогенные воздействия, возможное влияние вулканической пыли, фотохимических реакций и т.п.), можно утверждать, что подстилающая поверхность, являющаяся источником частиц почвы и водяного пара, представляет собой основной фактор, определяющий большинство оптических характеристик атмосферы, особенно в пограничном слое. Именно пограничный слой, строение и свойства которого даже в течение суток претерпевают, как правило, значительные изменения, играет вследствие этого существенную роль в формировании упомянутых оптических характеристик, обусловленных свойствами аэрозоля.

Таким образом, оптическая погода нижней тропосферы в заданной точке земного шара в конечном счете зависит, с одной стороны, от адвективных факторов, точнее, от траектории движения воздушной массы и очага ее формирования (иными словами, от ее предистории), а с другой - от особенностей стратификации атмосферы, способствующей или препятствующей турбулентному обмену.

Разумеется, ни аэрозоль почвенного происхождения, ни водяной пар не могут рассматриваться при этом только в качестве пассивных примесей, поскольку они испытывают во время горизонтальных и вертикальных движений воздуха трансформацию за счет взаимодействия друг с другом и за счет поступления новых частиц с подстилающей поверхности. Учет подобного комплекса факторов, воздействующих на свойства аэрозольной составляющей атмосферы, и сам подход к задаче подобного рода представляется сложной, но с нашей точки зрения, реальной задачей, решение которой необходимо при создании региональных оптических моделей атмосферы. Должны также приниматься во внимание синоптические факторы, воздействующие на мутность атмосферы / 2 /, так как без этого невозможно сформулировать условия, способствующие формированию оптически стабильного состояния атмосферы,

наблюдаемого с поверхности Земли / 4 /.

В работе / 4 / наряду с традиционным изучением характера воздушной массы сравнительно подробно рассматривались характер барического поля (особенно при возможном образовании нисходящих токов в атмосфере), подстилающей поверхности, учитывалось время года, прозрачность атмосферы и средний градиент температуры между поверхностью Земли (на уровне 2 м) и поверхностью 850 гПа. Как показала простейшая статистическая обработка наблюдений за прямой солнечной радиацией, выполненная для трех актинометрических станций в теплую половину года за 15-20 лет, именно эти факторы играют решающую роль в формировании оптически стабильной атмосферы.

В связи с этим возникла мысль проверить роль γ с использованием материала, опубликованного в работе / I /. Основным результатом работы / I / следующий. В условиях Каракумов (Репетекский биосферный заповедник) в осенние месяцы 1966, 1968 и 1974 гг. при господстве в районе наблюдения внутримассовых процессов или сильно размытых фронтов в утренние часы суток (9 ч местного времени, когда инверсионный слой, образующийся над пустыней в ночное время, еще не разрушен) массовая доля водяного пара в пограничном слое q' оказывает решающее влияние на все основные оптические характеристики атмосферы, измеряемые с поверхности Земли: прямую солнечную радиацию S , интегральную прозрачность атмосферы P_2 / 3 /, спектральную аэрозольную оптическую плотность атмосферы δ_λ (в области спектра I мкм) и степень поляризации света неба в точке максимальной поляризации $P_{\max}$.

В настоящей статье делается попытка качественного учета роли градиента γ , который может рассматриваться как простейший параметр, характеризующий термическую устойчивость атмосферы, в формировании оптических характеристик P_2 и δ_λ (для $\lambda = I$ мкм) при разрушенном инверсионном слое. Используются те же дни наблюдения, что в работе / I /. Попутно привлекаются также данные, полученные в сентябре и октябре 1974, 1976 и 1977 гг. в том же пункте (без каких-либо выборок). В последнем случае рассматриваются только данные, касающиеся P_2 . Сопоставление γ и оптических характеристик проводится для массы атмосферы $m = I,5$ после полудня. В это время турбулентные токи воздуха в атмосфере над пустыней наиболее интенсивны, а корреляционные связи между оптическими параметрами атмосферы и средним значением массовой доли водяного пара в пограничном слое q' ослабевают, поскольку упомянутый инверсионный слой, создающийся в условиях пустыни ночью, оказывается разрушенным. Результаты сопоставления γ и характеристик мутности даны в таблице.

Таблица включает весьма незначительный по объему материал наб-

людений, который недостаточен для каких-либо обобщающих выводов. Однако обращает на себя внимание тот факт, что средний градиент температуры в пограничном слое, зависящий от времени года и пункта наблюдений, как в средних широтах, так и в условиях пустыни оказывается связанным с характеристиками мутности атмосферы.

Таблица

Сопоставление среднего градиента температуры между поверхностью Земли (на уровне 2 м) и поверхностью 850 гПа (γ) с оптическими характеристиками атмосферы

Период наблюдений и его характеристика	γ	P_2		$\delta_{\lambda=0.44\mu\text{м}}$	
		Значение	Число случаев	Значение	Число случаев
Сентябрь-октябрь					
1966, 1968, 1974 гг.	$\leq 0,98$	$\geq 0,74$	12	$\leq 0,05$	14
		$< 0,74$	2	$> 0,04$	2
(район наблюдений в зоне внутримассовых процессов и размытых фронтов)	$> 0,98$	$\geq 0,74$	2	$\leq 0,05$	2
		$< 0,74$	14	$> 0,04$	10
Сентябрь 1966, 1968, 1974, 1976, 1977 гг.	$\leq 1,0$	$\geq 0,74$	18	-	-
		$< 0,74$	6		
(без выборок)	$> 1,0$	$\geq 0,74$	8	-	-
		$< 0,74$	14		
Октябрь 1966, 1968, 1974, 1976, 1977 гг.	$\leq 0,90$	$\geq 0,76$	12	-	-
		$< 0,76$	2		
(без выборок)	$> 0,90$	$\geq 0,76$	5		
		$< 0,76$	12		

Список литературы

1. Бартенева О.Д., Богданов Э.О., Веселова Л.К. и др. О связи характеристик мутности и степени поляризации света дневного неба с влажностью в пограничном слое атмосферы над пустыней. - Труды ИГО, 1980, вып.445, с.19-23.
2. Зверева С.В., Романова Г.Н., Самойленко А.В. Связь прозрачности атмосферы в отдельных районах СССР с характеристиками атмосферной циркуляции. - Труды ЛПМИ, 1971, вып.38, с.150-162.

3. Сивков С.И. Методические указания по определению характеристик прозрачности атмосферы для актинометрических отделов гидромет-обсерваторий УИМС. - Л.: Гидрометеоиздат, 1965, с.1-36.

4. Цветкова В.Н., Никитинская Н.И. О стабильности оптических свойств атмосферы в условиях Ленинградской области. - Труды ИГО, 1982, вып.456, с.15-20.

А.М.Шаламянский, Н.Д.Ионина

ИЗМЕРЕНИЕ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА В НИЖНЕАНГАРСКЕ ВО ВРЕМЯ ПОЛНОГО СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 31 ИЮЛЯ 1981 Г.

Солнечные затмения привлекают внимание исследователей атмосферного озона возможностью экспериментально оценить степень устойчивости озонового слоя к кратковременным изменениям интенсивности приходящей солнечной радиации. Теоретические исследования фотохимических процессов в озоном слое / 3 / говорят о том, что общая толщина слоя озона не может измениться за время затмения более чем на 0,002 см. В то же время результаты измерений, выполненных во время затмений, весьма противоречивы. Полное солнечное затмение 31 июля 1981 г. наблюдалось над южными и восточными районами СССР при довольно больших высотах Солнца. Это обстоятельство весьма благоприятно для измерений содержания озона, поскольку исключает влияние сумеречных эффектов.

В г.Нижеангарске Бурятской АССР, где проводила измерения экспедиция ИГО, максимальная фаза затмения составляла 1,006, продолжительность полного затмения была 98 с. Высота Солнца над горизонтом в период затмения изменялась от 40 до 50° ($\mu = 1,55...1,29$), а в момент максимальной фазы составляла 48,4° ($\mu = 1,33$).

Общее содержание озона (ОСО) измерялось сетевым озонометром М-83 № 105, который перед затмением был отградуирован по спектрофотометру Добсона № 108 (Ленинград). Наблюдения проводились 29, 30 июля, 1 и 2 августа по стандартной программе (через 1 ч) /2/, средние дневные значения ОСО в эти дни составляли соответственно 0,353; 0,340; 0,356; 0,352 атм-см. 31 июля до начала затмения было проведено 26 серий наблюдений, содержание ОСО было 0,349 атм-см, после затмения - 25 серий, содержание озона - 0,346 атм-см. Таким образом, в течение пяти дней сохранялось устойчивое состояние озонового слоя.

31 июля 1981 г. в г.Нижеангарске небо было безоблачным, т.е. условия наблюдений были весьма благоприятными для измерений ОСО. Всего за период затмения по прибору сделано 102 пары отсчетов. Результаты измерений, полученные при обработке по стандартной программе, показаны на рис.1 а черными точками (кривая 1).

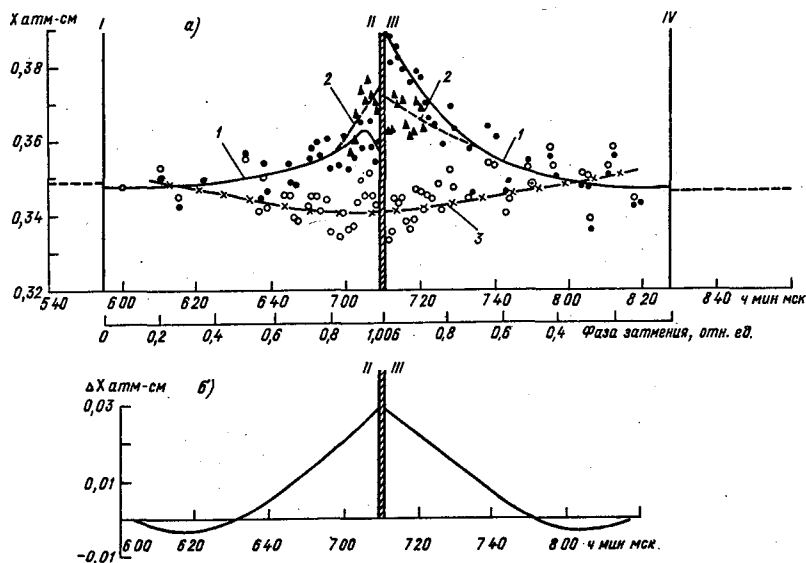


Рис. I. Общее содержание озона в период полного солнечного затмения (а); зависимость озонной поправки ΔX на потемнение солнечного диска (от центра к краю) от фазы солнечного затмения (б).

I-IV - моменты контактов проекций дисков Луны и Солнца на небосводе.

При анализе результатов выяснилось, что при фазе, большей 0,8, из-за быстрого изменения интенсивности солнечной радиации необходимо учитывать неодновременность отсчетов по I-му и 2-му светофильтрам. Результаты измерений с введенными поправками показаны на рис. I треугольниками. При введении поправок разрыв значений ОСО (кривая 2 на рис. I а) исчезает.

Поправки на потемнение солнечного диска от центра к краю были введены по данным работы / 2 /. Учитывая, что высота Солнца в период затмения изменялась мало, и колебания в содержании озона невелики, искажение значений было определено по формуле

$$\Delta X = \frac{\lg \frac{I_1}{I_2}}{(\alpha_1 - \alpha_2) \mu}, \quad (I)$$

где $\frac{I_1}{I_2}$ - отношение отсчетов озонметра по I-му и 2-му фильтрам, $\frac{I_1'}{I_2'}$ - отношение отсчетов с учетом поправки на потемнение, α_1 и α_2 - показатели поглощения озона для эффективной длины волны соответственно I (310 нм) и II (328 нм) светофильтров, μ - озонная масса. Изменение поправки на потемнение ΔX в зависимости от вре-

мени и фазы затмения показано на рис. I б.

Значения ОСО, полученные после введения поправок на потемнение солнечного диска, показаны на рис. I а кружками (кривая 3). Полученное уменьшение значений ОСО по сравнению со средним дневным значением не превышает 3 % и находится в пределах погрешности озонметра М-83. Наблюдаемые отклонения ОСО могут быть следствием погрешностей прибора и неопределенностей в обработке наблюдений.

Таким образом в г. Нижнеангарске не обнаружено значимых изменений ОСО во время полного солнечного затмения 31 июля 1981 г.

Список литературы

1. Макарова Е.А., Харитонов А.В. Потемнение диска спокойного Солнца к краю (усредненные данные). Непрерывный спектр. - *Астрономический журнал*. 1976, т. 53, вып. 6, с. 1234-1243.

2. Методические указания по производству и обработке наблюдений за общим содержанием атмосферного озона. Сост. Г.П. Гушин. - Л.: Гидрометиздат, 1981, 43 с.

3. Hunt B.G. A theoretical study of the changes occurring in the ozone layer during the total eclipse. - *Tellus*, 1965, vol. 17, N 4, p. 516-523.

Ю. Д. Янишевский

СОЛНЕЧНО-СЛЕПЫЕ ПИРГЕОМЕТРЫ

Сеть актинометрических станций предназначена для регистрации и интегрирования данных о солнечном и земном излучениях как факторах макроклимата, но в программу регистрации входят также измерения отраженной и остаточной радиации (баланса), которые являются микроклиматическими величинами, связанными со свойствами почвы непосредственно под приборами. Для стандартизации наблюдений предпринималось оголение почвы, предполагалось цементирование площадки под балансометром. Значительное число актинометрических станций оказывается нерепрезентативным для измерения отраженной и остаточной радиации вследствие пестроты почвы, наклона площадки; тени от растительности, забора или метеорологических установок.

Весьма низко качество изготовления балансометров типа М-10: быстро стареет черная матовая эмаль на приемниках, вследствие чего меняются чувствительность и спектральная селективность; термобатарея после серебрения плохо промывается и плохо изолируется от атмосферной влаги, в результате чего чувствительность падает в 2-3 раза.

Это трудно контролировать по прямой солнечной радиации, так как чувствительность просохшего балансомера восстанавливается; чувствительность балансомеров мала для самописцев типа КСП-4. До сих пор нет пиррадиометров / 15 /, которые регистрировали бы интегральный приход радиации. Указанные обстоятельства, а также различия в зависимости от угла падения радиации чувствительностей балансомера и пиранометра не позволяют надежно определять длинноволновую ИК радиацию атмосферы в дневное время. Ценность данных о длинноволновой радиации состоит в том, что она очень тесно связана с облачностью / 16 /. Эти данные используются также для прогноза радиационных заморозков.

Уже давно разрабатываются пиргеометры и балансомеры, нечувствительные к солнечной радиации. Разработка ведется по двум направлениям: 1) выделение длинноволновой радиации селективным фильтром и 2) создание селективного приемника. В Агрофизическом институте (АФИ) строились пиргеометры / 7 / с пластинкой из каменной соли или сельвина, защищенной селеновой пленкой. Этот фильтр оказался нестойким, так как пленка повреждалась деталями крепления фильтра и он разъедался атмосферной влагой. Делались опыты с применением полусферических колпачков из кристалла КРС-5. Компенсация пропущенной солнечной радиации с длиной волны более 0,5 мкм осуществлялась посредством встречного включения пиранометра с оранжевым фильтром / 12 /. Впоследствии конструкция колпачка усложнилась / 6 /, на его внутреннюю поверхность был помещен интерференционный фильтр, пропускающий только длинноволновую ИК радиацию. При использовании такого прецизионного пиргеометра без затенения возникает собственное тепловое излучение, которым нельзя пренебречь, если интерференционный фильтр не вентилируется / 13 /.

Более перспективным кажется селективный приемник, предложенный впервые А.Ангстремом в 1927 г. / 10 /. В пиргеометре К.Ангстрема / 9, с.326 / черная краска на полосках была заменена светло-серой. Естественно, что при спектральной селективности золота нельзя добиться одинаковой нечувствительности пиргеометра к рассеянной радиации как ясного, так и облачного неба, если не применять желтой краски вместо серой.

Значительный интерес представляет пиргеометр В.П.Кислова (АФИ), представленный в ИГО на испытание в 1937 г. с чередующимися полосками из алюминия: матированными и покрытыми светло-серой матовой эмалью. Его чувствительность к солнечной радиации составляла значительно меньше 1 % чувствительности к ИК радиации. Для уменьшения влияния ветра были применены широкие и толстые термэлементы. Чувствительность оказалась равной примерно $2 \text{ мВ} \cdot \text{м}^2 / \text{кВт}$ при сопротивлении термобатареи около 1,5 Ом. Снижение чувствительности при ветре ока-

залось раным примерно 7 % на 1 м/с. В / 1 / упоминается вариант одвоенного пиргеометра-балансомера с увеличенным числом приемных полосок, концы которых приклеены к пробковому кольцу. Термометр вставлен между двумя приемниками.

На аналогичном принципе основаны солнечно-слепые балансомеры Центральной аэрологической обсерватории / 8 /. Круглый блестящий алюминиевый балансомер, окружен кольцеобразным, покрытым матово-белой эмалью балансомером (включение встречно-последовательное). Шунтируя тот из балансомеров, который чувствительнее к солнечной радиации, можно было добиться снижения этой чувствительности в десятки раз. Термобатареи выполнены в форме спирали из целлулоида, обмотанного константановым проводом, каждые полвитка которого омеднены. Балансомер смонтирован в пластмассовом корпусе, с двух сторон покрытом полиэтиленовыми колпачками. Недостатки этих балансомеров следующие: 1) отсутствует отвод тепла к атмосфере, 2) нельзя сменить колпачки, хотя срок их службы не превышает полугода, 3) высоко сопротивление термобатареи. Обнаруженный дефект компенсации / 4 / связан, вероятно, с подбором шунта при действии прямой солнечной радиации, тогда как испытания в ГГО велись для рассеянной радиации, поступающей через двойную стеклянную защиту.

Для регистрации длинноволновой эффективной радиации в ГГО разработан вариант пиргеометра Кислова. Применение полиэтиленовой защиты от ветра позволяет сильно уменьшить сечение лент термоэлементов до $0,4 \times 0,03 \text{ мм}^2$ и увеличить их число до 300 при сопротивлении 180 Ом. Совершенно плоская батарея уже применялась в приборах типа пиргеометра Савинова / 9, с. 32 /. В соответствии с опытом ЦАО / 8 / отражающие полоски сделаны из блестящего алюминия; их сечение - $4,5 \times 0,017 \text{ мм}^2$, длина 70 мм. Каждая четная полоска окрашена белой матовой эмалью с ничтожным добавлением черной. Чувствительность $40 \text{ мВ} \cdot \text{м}^2 / \text{кВт}$ в макетном варианте превышает чувствительность к рассеянной солнечной радиации пока только в 60 раз; инерция прибора 18 с. Разность температур составляет около 3°C на $1 \text{ кВт} / \text{м}^2$, тогда как максимально возможное показание не превышает $0,25 \text{ кВт} / \text{м}^2$. Следовательно, допустимо повышение чувствительности за счет фальцевания термобатареи и уменьшения площади соприкосновения с полосками. В результате может быть значительно уменьшено число термоэлементов и сопротивление термобатареи.

Форма полиэтиленовой защиты требует особых исследований. Использование полусферической защиты / 16 / ведет к значительному завышению показаний летом / 4 /. Плоская защита требует мер по удалению осадков. Выбрана форма очень низкой пирамиды со средней высотой над приемниками 8 мм / 11 /. Кусок полиэтилена опирается на девять проволочных подпорок, и его края привязываются к желобку на боковой

стенке цилиндрического корпуса. Недостаточная герметизация компенсируется большим объемом сушилки (70 мл). Сорт полиэтилена не играет большой роли, так как контроль чувствительности осуществляется компенсационными пиргеометрами типа пиргеометров Ангстрема и Фалькенберга / 3,,14 /. Эти пиргеометры при поверке методом Фалькенберга (методом снежного неба) /9, с.328/ показали удовлетворительное постоянство переводных множителей.

Температура пиргеометра при регистрации его показаний должна непрерывно контролироваться. Применение медного термометра сопротивления оказалось невозможным, так как на сети обсерваторий нет самопишущих мостов. Приходится применять термобатарею с локальным термостатом, достаточная тепловая инерция которого позволит контролировать его температуру днем не чаще одного раза в 3 ч. Такое устройство проще громоздкого зонда Шульца / 16 /, погружаемого в почву на глубину 1 м. Активные спаи этого зонда сильно увеличивают тепловую инерцию пиргеометра.

Защита от прямой солнечной радиации тенью кольцом / 10 /, легко осуществимая для пиргеометра на наземной станции, создает затруднения при использовании на судне, где, впрочем, для этой цели применяются автоматы / 2 /.

Объективная оценка облачности под низкими широтами возможна только радиометром Кастрова / 3 /, так как высокое содержание водяных паров маскирует изучение облаков, однако этот прибор не может заменить пиргеометра.

Список литературы

1. А.с.56926 (СССР). Термоэлектрический пиргеометр/ Кислов В.П., Заявл.04.10.38. Кл.42 2002. Оpubл.30.04.40.

2. А.с.678440 (СССР). Устройство для измерений составляющих радиационного баланса / Самушкин В.А., Веремеенко М.В., Бусин Ю.П. Оpubл. в Б.И., 1979, № 29.

3. Кастров В.Г. Измерение излучения атмосферы в области максимальной прозрачности водяного пара. - Метеорология и гидрология, 1946, № 1.

4. Коломоец И.П., Халезова Л.Т., Янишевский Ю.Д. К методике измерения длинноволнового земного излучения. В кн.: Радиационные процессы в атмосфере и на земной поверхности. Л., 1979, с.86-89.

5. Лебедева К.Д., Сивков С.И., Фатеева К.А. и др. О сравнимости показаний балансомеров и пиранометров разных типов. - В кн.: Актинометрия и оптика атмосферы. Таллин: Валгус, 1968, с.230-238.

6. Прецизионный инфракрасный радиометр (пиргеометр) Эшли. Бюллетень ВМО 1971, № 4, Реклама.

7. Хволес С.Б. Опыт работы с дневным пиргеометром АФИ. В кн.: Труды по агрономической физике. 1952, вып.5, с.73-80.
8. Шляхов В.И., Фридзон М.Б., Куракин В.И. Новые приборы для измерения радиации. Метеорология и гидрология, 1970, вып.8, с.84-89.
9. Янишевский Ю.Д. Актинометрические приборы и методы наблюдений. - Л.: Гидрометеиздат, 1957, 415 с.
10. Ångström A. Recording nocturnal radiation. Meddelanden from Statens Meteorologisk-Hydrografiska Anstalt. 1927, vol.3, N 12, 1-12.
11. Büttner K. Physikalische Bioklimatologie. T.11. - Leipzig, 1938, s.80.
12. Drummond A.J., Scholes W.J., Brown J.H., Nelson R.E. A new approach to the measurement of terrestrial longwave radiation WMO Techn. Note, 1968, N 104, 384-387.
13. Enz J.W., Klink J.C., Baker B.D. Solar radiation effects on pyrometer performance. - J.Appl. Met., 1975, vol.14, p.1297-1300.
14. Falckenberg G. Kritik am Ångströmschen Pyrometer. - Meteorolog. Zeitschrift, 1932, Bd 49, N 5.
15. Guide to meteorological instrument and observing practices. 4th ed. 1971.
16. Schulze R. Über die Verwendung von Polyäthylen für Strahlungsmessungen. - Archiv für Meteorol., Geoph.u.Biokl. Ser.B, 1961, Bd 11, N 2, s.211-213.
17. Wörner H. Zur Frage der Automatisierbarkeit der Bewölkungsangaben durch Verwendung von Strahlungsgrößen. Abhandlungen Meteorolog. Dienstes DDR. 1967, Bd 11, N 82. 36 S.

Т.К.Ястребова

МЕТОД МАШИННОГО КОНТРОЛЯ ГРАФИКОВ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ АКТИНОМЕТРИЧЕСКИХ РЕГИСТРАТОРОВ

С введением машинной обработки актинометрической информации на ЭВМ второго поколения (М-220, М-222) результаты регистрации обрабатывались вручную, в ЭВМ только формировала таблицы ТМ-13 / 1 /. При введении обработки на ЭВМ ЕС обработка результатов регистрации автоматизируется: ЭВМ находит зависимость ординаты регистратора x от абсолютного значения y потока соответствующего вида радиации и аппроксимирует эту зависимость / 2 /, т.е. строит так называемый график чувствительности регистраторов и вводит его в обработку. Для правильности и точности обработки необходимо задать критерии, которыми бы ЭВМ «руководствовалась» при отборе точек для использо-

вания их в нахождении корреляционной зависимости. При ручном составлении графика чувствительности производится визуальный контроль; ЭВМ будет контролировать по критериям. Для такого контроля вводится величина γ :

$$\begin{aligned}\gamma_s &= \frac{x'}{y} = \frac{\alpha \cdot x}{y} = \frac{\alpha \cdot n_s}{A_s \cdot \bar{N}_s}, \\ \gamma_o &= \frac{x'}{y} = \frac{\alpha \cdot x}{y} = \frac{\alpha \cdot n_o}{A_o \cdot \bar{N}_o}, \\ \gamma_a &= \frac{x'}{y} = \frac{\alpha \cdot x}{y} = \frac{\alpha \cdot n_a}{A_o \cdot \bar{N}_o + A_s \cdot \bar{N}_s \cdot \sinh o}, \\ \gamma_k &= \frac{x'}{y} = \frac{\alpha \cdot x}{y} = \frac{\alpha \cdot n_k}{A_o \cdot \bar{N}_k}, \\ \gamma_{\pm} &= \frac{x'}{y} = \frac{\alpha \cdot x}{y} = \frac{\alpha \cdot (\pm n_{\pm})}{A_o \cdot (\pm \bar{N}_{\pm})},\end{aligned} \quad (I)$$

где: A_s , A_o , A_k - переводные множители контрольной (срочной) актинометрической установки, α - цена деления регистратора в мВ, которая содержится в файле условно-постоянных характеристик; n_s , n_o , n_k , $\pm n_{\pm}$ - ордината x регистратора, снимаемая в сроки наблюдений (содержится в градуировочных блоках); $\bar{N}_s$, $\bar{N}_o$, $\bar{N}_k$, $\pm \bar{N}_{\pm}$ - средние отсчеты гальванометров срочной установки.

Таким образом, характеристика γ есть не что иное, как чувствительность первичного актинометрического преобразователя, а эта величина нормирована / 3-5 /. Пределы значений величин γ_s , γ_o , γ_k , $\gamma_{\pm}$ следующие:

γ_s ...	8-12	γ_k ...	10-16
γ_o ...	10-16	$\gamma_{\pm}$...	7-13
γ_a ...	10-16		

Та пара точек (x и y), которая не удовлетворяет указанным пределам и соотношениям (I), бракуется ЭВМ и в дальнейшем нахождении корреляционной зависимости и ее аппроксимации не участвует.

Предлагаемый метод проверен вручную на материале за несколько лет (более 300 графиков) по станциям Воейково, Борисполь, Ташкент для различных потоков радиации и типов регистраторов. На ЭВМ ЕС проверка будет осуществлена при составлении программы обработки актинометрической информации.

Предлагаемый метод может быть полезен и при ручном составлении графиков чувствительности, но основную пользу он принесет при обработке на ЭВМ ЕС.

Список литературы

1. Временные методические указания по машинной обработке и контролю данных гидрометеорологических наблюдений. Ч. I. - Обнинск, 1974, вып. 5, 23 с.
2. Махоткина Е. Л., Ястребова Т. К., Ильин Б. М. Алгоритмы машинной обработки результатов регистрации радиационного баланса и его составляющих. - Труды ИГО, 1982, вып. 472, с. 13-20.
3. Методические указания. Балансометр термоэлектрический типа М-ИОМ. Методы и средства поверки. - Л., ИГО, 1980.
4. Методические указания. Головка пиранометра М-ИИ5М. Методы и средства поверки. - Л., ИГО, 1979.
5. Методические указания. Образцовые актинометры ОСИ 2-го и 3-го разрядов. Методы и средства поверки. - Л., ИГО, 1979.

СОДЕРЖАНИЕ

Е.П.Барашкова. Возможности контроля часовых сумм суммарной радиации, соответствующих безоблачному небу.	3
Е.П.Барашкова. Связь средних месячных значений часовых сумм солнечной радиации и продолжительности солнечного сияния .	10
Ю.Д.Горбенко, С.И.Зачек, Д.А.Тайц, Л.В.Луцько. Полупроводниковый актинометр АП-I.	16
В.И.Горышин. Фотометр яркостей автоматический регистрирующий (ФЮАР-I).	20
Г.П.Гущин, С.А.Соколенко. Расчет оптической и электрической системы озонметра.	30
А.А.Елисеев, В.М.Степанова. О методике экспериментальной оценки лучистого притока тепла в приземном слое атмосферы	36
С.И.Зачек. Прибор для измерения баланса длинноволновой радиации.	42
С.И.Зачек, Л.В.Луцько, В.А.Клеванцова, Б.Г.Начкебия, Д.А.Тайц, Ю.Д.Горбенко. О результатах испытаний полупроводниковых актинометрических приборов.	57
С.И.Зачек, Д.А.Тайц, Ю.Д.Горбенко. Полупроводниковый термоэлектрический пиранометр ПП-I.	63
В.М.Игнатенко. Некоторые инструментальные погрешности при лидарном измерении показателя ослабления атмосферы.	72
В.М.Игнатенко, В.А.Ковалев. Оценка случайных погрешностей при лидарном измерении показателя ослабления атмосферы.	76
Е.Л.Махоткина. Связь коэффициента мутности Ангстрема с коротковолновым фактором мутности Линке.	81
Н.И.Никитинская, В.Н.Цветкова. Об изменении общего содержания водяного пара в атмосфере в период солнечного затмения. .	85
Г.С.Петров, С.И.Зачек, Д.А.Тайц, Ю.Д.Горбенко. Пиргелиометр ПП-I.	92
К.И.Ромашкина. Сравнительный анализ результатов наблюдений сетевым озонметром М-83 до и после модернизации.	101
Д.А.Тайц, Ю.Д.Горбенко, С.И.Зачек, Л.В.Луцько. Полупроводниковый термоэлектрический балансомер БП-I.	111
В.Н.Цветкова, Н.И.Никитинская. О формировании некоторых оптических свойств атмосферы.	117
А.М.Шаламянский, Н.Д.Ионина. Измерение общего содержания озона в Нижнеангарске во время полного солнечного затмения 31 июля 1981 г.	120

Ю.Д.Янишевский. Солнечно-слепые пиргеометры.	I22
Т.К.Ястребова. Метод машинного контроля графиков чувствительности актинометрических регистраторов.	I26

Труды ИГО, вып. 487
Актинометрия, атмосферная оптика и озонметрия
Редактор Л. И. Верес

н/к

Подписано в печать 04.07.85. М - 22456. Формат 60x90^I/16. Бумага картографическая. Печать офсетная. Печ.л. 9,0. Кр.-отт. 9,25. Уч.-изд.л. 9,25. Тираж 540 экз. Индекс МОИ-148. Заказ № 2347
Цена 65 коп. Заказное.

Гидрометеоиздат, 199053, Ленинград, 2-я линия, д. 23.
Московская типография № 9 Совзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
109033, Москва, Ж-33, ул. Волочаевская, д. 40.

УДК 551.521

Возможности контроля часовых сумм суммарной радиации, соответствующих безоблачному небу. Барашкова Е.П. Труды ГГО, 1985, вып.487, с.3-9

Исследуется возможность использования для контроля сравнительно устойчивой зависимости от высоты Солнца наблюдаемых при безоблачном небе часовых сумм суммарной радиации.

Табл.3. Ил.2. Библ.8.

УДК 551.521

Связь средних месячных значений часовых сумм солнечной радиации и продолжительности солнечного сияния. Барашкова Е.П. Труды ГГО, 1985, вып.487, с.10-15.

С целью выяснения возможности контроля ежемесячной актиметрической информации по продолжительности солнечного сияния рассмотрена корреляционная связь средних месячных значений часовых сумм солнечной радиации и продолжительности солнечного сияния, а также связь с продолжительностью солнечного сияния отношения средних месячных значений часовых сумм рассеянной и суммарной радиации и отношения средних месячных значений часовых сумм суммарной радиации к возможным суммам.

Табл.3. Библ.3.