

ОБ ИЗМЕРЕНИИ РАДИАЦИИ ПИРАНОМЕТРАМИ ЯНИШЕВСКОГО *

Ю. К. РОСС

ЧАСТЬ II

1. Зависимость переводного множителя пиранометров от температуры

Исходя из работы [1], переводный множитель $a_n(R_d)$ системы пиранометр — гальванометр при добавочном сопротивлении R_d в цепи тока определяется формулой:

$$a_n(R_d) = \frac{\alpha}{k_1} (R_6 + R_r + R_d); \quad (1)$$

где α — постоянная гальванометра по току в $\frac{\text{ампер}}{\text{деления}}$,

k_1 — чувствительность пиранометра в $\frac{\text{вольт}}{\text{кал/см}^2 \text{ мин.}}$,

R_6 — внутреннее сопротивление термобатарей пиранометра в омах,

R_r — внутреннее сопротивление гальванометра в омах и

R_d — добавочное сопротивление гальванометра в омах.

Сопротивление соединительных проводов меньше 0.5 ома и его не следует учитывать.

Температурная зависимость $a_n(R_d)$ определяется действием температуры на все параметры, входящие в формулу (1). Параметры приборов определяются в лабораторных условиях и прилагаются к паспорту прибора. Методика их определения дана в работе [2]. Для температурного коэффициента переводного множителя β_{a_n} в работе [1] дана формула:

$$\beta_{a_n} = \frac{\Delta a_n}{\Delta t} \frac{1}{a_n} = \beta_a - \beta_{k_1} + \beta_R, \quad (2)$$

где

$$\beta_R = \frac{\beta_{R_6} R_6 + \beta_{R_r} R_r}{R_6 + R_r + R_d} \quad (3)$$

— температурный коэффициент сопротивления цепи и $\beta_i = \frac{\Delta i}{\Delta t} \frac{1}{i}$ — температурный коэффициент параметра i ($i = a, k_1, R_r, R_6$). Поскольку

* Продолжение. Начало см. «Известия АН Эст. ССР. Серия техн. и физ.-мат. наук», № 1, 1957. (Ред.)

добавочное сопротивление R_d обычно изготавливается из манганина, то его температурный коэффициент учитывать не следует. Определение β_i требует специальных лабораторных исследований [1, 3]. В полевых условиях, однако, имеется возможность определить β_a и β_R , и по формуле (2) найти $\beta_a - \beta_{R_1}$. При этом β_a определяется из сравнительных наблюдений при различных температурах, а β_R определяется при помощи простых измерений, исходя из следующих соображений.

Поскольку переводный множитель без добавочного сопротивления выражается формулой

$$a_n(0) = \frac{\alpha}{k_1}(R_6 + R_r), \text{ то, если обозначить}$$

$$C_t(0, R_d) = \frac{a_n(R_d)}{a_n(0)} = \frac{N(0)}{N(R_d)} = 1 + \frac{R_d}{R_6 + R_r},$$

где $N(0)$ и $N(R_d)$ — отсчеты гальванометра при постоянной радиации соответственно без добавочного сопротивления и с добавочным сопротивлением. Определяя $C_t(0, R_d)$ при разных температурах, можно найти

$$\beta_c = \frac{\Delta C_t}{\Delta t} \frac{1}{C_t} = - \frac{R_d}{R_6 + R_r} \beta_R \text{ и тем самым } \beta_R.$$

Определенные Покровской [1] для ряда приборов температурные коэффициенты оказались следующими (в процентах на градус):

Гальванометры ГСА		Пиранометры	
Мастерская ГГО	3-д Гидрометприборов (Ленинград)		
β_a — 0.038	— 0.048	β_{R_1} — 0.110	
β_{R_r} 0.380	0.380	β_{R_6} 0.014	

Следует отметить, что у отдельных приборов отклонения β_i от среднего достигли до $\pm 50\%$.

Приведенные данные сходятся с данными Кастрова [3] и Чельцова [4].

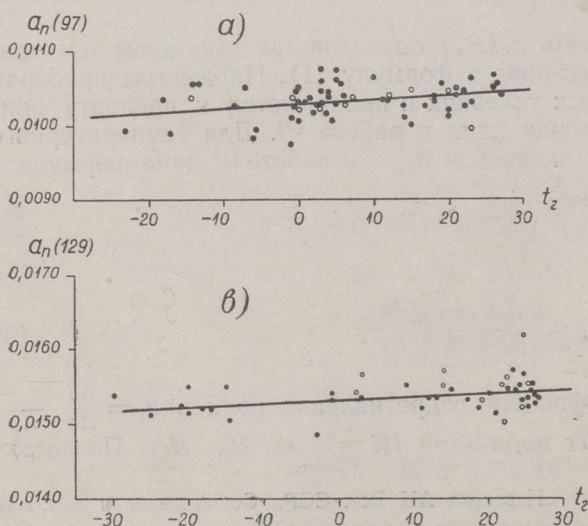


Рис. 1.

Зависимость нормального переводного множителя $a_n(R_d)$ пиранометров от температуры:
а — для пиранометра

$$\frac{AC 4 \times 4 - 2814}{\Gamma - 328};$$

б — для пиранометра

$$\frac{PC - 2445}{\Gamma - 345}.$$

Условные обозначения:

- — пиранометр расположен перпендикулярно к солнцу;
- — пиранометр расположен горизонтально.

В Тарту были определены β_α и β_c для некоторых пиранометров в полевых условиях. В качестве примера на рис. 1 приведена зависимость $a_n(R_d)$ от температуры для пиранометров $\frac{AC\ 4 \times 4 - 2814}{\Gamma - 328}$ и $\frac{PC - 2445}{\Gamma - 345}$, определенная путем сравнения с пиргелиометром Онгстрема № 143.

Таблица 1

Характеристики пиранометров

Прибор	R_d ом	$a_{20}(R_d)$		% на градус					
				β_{a_n}		β_R		$\beta_\alpha - \beta_{k_1}$	
		выч.	эксп.	выч.	эксп.	выч.	эксп.	выч.	эксп.
$\frac{AC\ 4 \times 4 - 2814}{\Gamma - 328}$	97	0.01085	0.0103	0.15	0.06	0.09	0.11	0.06	-0.05
$\frac{AC\ 4 \times 4 - 2814}{\Gamma - 330}$	135	0.0110	0.0118	0.14	0.04	0.08	0.08	0.06	-0.04
$\frac{П\ 4 \times 4 - 2811}{\Gamma - 352}$	129	0.01105	0.01075	0.14	—	0.08	0.09	0.06	—
$\frac{АП\ 3 \times 3 - 305}{\Gamma - 334}$	168	0.0124	0.0130	0.13	—	0.07	0.07	0.06	—
$\frac{PC - 2445}{\Gamma - 352}$	129	0.0152	0.0152	0.14	0.02	0.08	0.09	0.06	-0.07

В табл. 1 полученные переводные множители и температурные коэффициенты сопоставлены с переводными множителями и температурными коэффициентами, вычисленными по паспортным данным и средним данным Покровской. Анализ этой таблицы приводит к следующему:

1. Вычисленные по паспортным данным переводные множители иногда больше, а иногда меньше переводных множителей, определенных в полевых условиях путем их сравнения, причем максимальное расхождение достигает 7%.

2. Определенный в полевых условиях температурный коэффициент переводного множителя β_{a_n} во много раз меньше вычисленного. Причина такого расхождения не ясна. Возможно, что постоянная самого пиргелиометра имеет температурный коэффициент.

3. Вычисленный температурный коэффициент сопротивления цепи β_R хорошо совпадает с экспериментальным коэффициентом. Отсюда вытекает, что причину расхождения вычисленных и экспериментальных значений β_{a_n} следует искать в величинах β_α и β_{k_1} , если она вообще кроется в термоэлектрической системе. Поэтому в дальнейшем было бы желательно продолжать исследования по изучению температурной зависимости чувствительности пиранометров β_{k_1} и чувствительности гальванометров β_α .

4. Поскольку температурный коэффициент переводного множителя пиранометров мал, можно практически не учитывать зависимости $a_n(R_d)$ от температуры, особенно летом, когда в цепь включается еще добавочное сопротивление порядка 100 ом.

2. Изменение переводного множителя пиранометров со временем

При определении окончательных поправок для исправления данных пиранометров необходимо изучать изменение нормального переводного множителя $a_n(R_d)$ со временем.

С этой целью для каждого пиранометра по данным всех срочных и сравнительных наблюдений был найден ход наивероятнейшего значения $a_n(R_d)$. По этому ходу для каждого месяца было определено наивероятнейшее значение $a_n(R_d)$, в общем отличающееся от значения $a_n(R_d)$, используемого при текущей обработке. Для исправления возникающих при таком способе обработки систематических ошибок были найдены соответствующие поправочные множители $C_p = \frac{a_n(R_d)}{\bar{a}_n(R_d)}$. Ниже рассматривается изменение $a_n(R_d)$ со временем для используемых в Тарту пиранометров.

Пиранометр АП 3 × 3—374. Прибор работал на площадке в качестве походного альбедометра для измерения альбедо травяного покрова. Градуировка прибора производилась по суммарной радиации $Q = S' + D$ срочных наблюдений. Кроме того, производились некоторые специальные сравнительные наблюдения для определения a_n . По срочным наблюдениям определялись горизонтальные переводные множители суммарной радиации $\bar{a}_n = \frac{Q}{N}$, где N — отсчет АП 3 × 3—374 незатененного прибора. В общем \bar{a}_n отличается от переводного множителя горизонтального пиранометра для прямой солнечной радиации, т. е. $\bar{a}_n \neq a_n$. Далее была построена зависимость \bar{a}_n от высоты солнца h_{\odot} (рис. 2в). Для этой цели использовали данные за май, июнь и июль месяцы 1954 г., так как за это время не было обнаружено изменений a_n со временем. По найденной зависимости из соотношения $\bar{F}(h) = \frac{\bar{a}_n}{a_n}$ была определена функция $\bar{F}(h)$ для суммарной радиации, значения которой приведены в табл. 2. Там же приведена для сравнения функция $F(h)$ для прямой радиации, которая была определена в Тбилиси в 1952 г. и дана в паспорте прибора.

Значения $F(h)$ для пиранометра АП 3 × 3—374

Таблица 2

h_{\odot}	2.5°	7.5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°
$\bar{F}(h)$	0.80	0.88	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.99	1.00	0.99	0.97
$\bar{F}(h)$	0.58	0.77	0.77	0.85	0.84	0.87	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96

При помощи $\bar{F}(h)$ и $C_t(R_{d_i}, 280)$ все значения $\bar{a}_n(R_{d_i})$ были приведены к $a_n(280)$, ход которого со временем изображен на рис 2а. Мы видим, что в течение двух лет происходит заметное увеличение переводного множителя $a_n(280)$ вследствие старения прибора. $a_n(280)$ изменяется от 0.0285 в мае 1953 г. до 0.0386 в августе 1954 г., т. е. увеличивается на 35%. Своеобразным является ход $a_n(280)$ в июне и июле месяце 1953 г. Это также связано со старением прибора, так как именно в это время происходило заметное пожелтение белых приемных клеток, вследствие чего снизилось и спектральное альбедо белых поверхностей, как это показано на рис. 2

в первой части настоящей работы [5]. Но какой именно конкретный процесс вызвал резкое увеличение чувствительности в конце июня и в начале июля, трудно сказать.

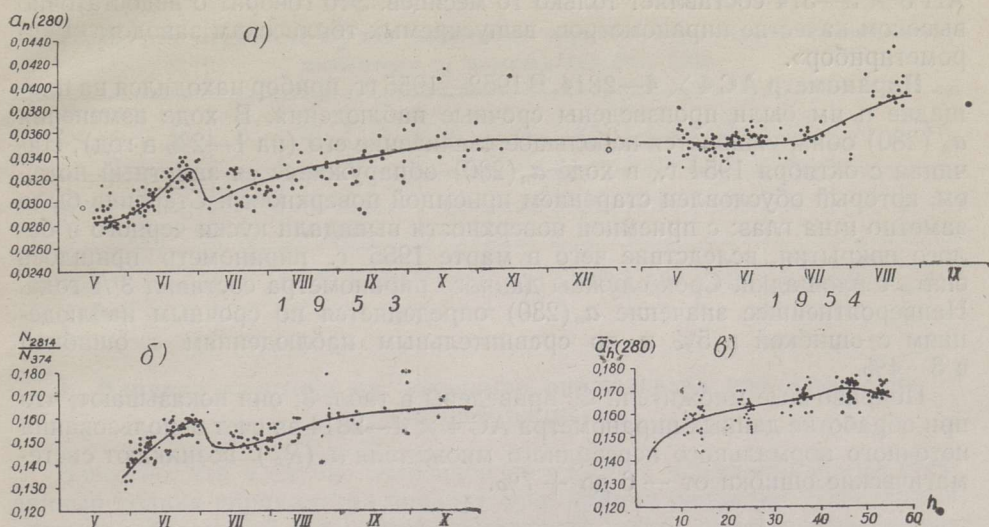


Рис. 2. а) Изменение нормального переводного множителя $a_n(280)$ для пира-

нометра $\frac{AP\ 3 \times 3 - 374}{\Gamma - 328}$ со временем.

б) Изменение соотношения показаний пиранометров $\frac{AC\ 4 \times 4 - 2814}{\Gamma - 328}$ и $\frac{AP\ 3 \times 3 - 374}{\Gamma - 328}$ со временем при измерении суммарной радиации.

в) Зависимость горизонтального переводного множителя суммарной радиации $\bar{a}_h(280)$ для пиранометра $\frac{AP\ 3 \times 3 - 374}{\Gamma - 328}$ от высоты солнца h_{\odot} .

Пиранометр $\frac{AC\ 3 \times 3 - 374}{\Gamma - 328}$ был сравнен в 1953 г. еще другим способом. При ясной погоде (\odot^2) во время срочных наблюдений делались два последовательных отсчета суммарной радиации с AC $4 \times 4 - 2814$ и с AP $3 \times 3 - 374$ и бралось их отношение $\frac{N_{2814}}{N_{374}}$. Поскольку оба прибора были подключены к одному и тому же гальванометру $\Gamma - 328$, то в ходе $\frac{N_{2814}}{N_{374}}$ почти исключено влияние возможных изменений параметров гальванометра, и поэтому отношение $\frac{N_{2814}}{N_{374}}$ должно характеризовать состояние пиранометров. Так как в это время не обнаруживалось резких колебаний характеристик пиранометра AC $4 \times 4 - 2814$, то изменения этого соотношения должны характеризовать изменения состояния пиранометра AP $3 \times 3 - 374$. На рисунке 2б представлены данные изменения $\frac{N_{2814}}{N_{374}}$ в течение лета 1953 г. Мы видим, что ход $\frac{N_{2814}}{N_{374}}$ повторяет ход $a_n(280)$, и это доказывает, что изменение $a_n(280)$ обусловлено именно изменением

чувствительности АП 3×3 —374 вследствие старения приемной поверхности. Ход a_n (280) на рис. 2а был взят основой для обработки данных измерений над травяным покровом.

Приведенные данные показывают, что срок службы пиранометра АП 3×3 —374 составляет только 10 месяцев. Это говорит о недостаточно высоком качестве пиранометров, выпускаемых тбилисским заводом «Гидрометприбор».

Пиранометр АС 4×4 —2814. В 1952—1955 гг. прибор находился на площадке и им были произведены срочные наблюдения. В ходе изменения a_n (280) обнаруживается небольшое увеличение его (на 1—2% в год). Начиная с октября 1954 г., в ходе a_n (280) обнаруживается заметный подъем, который обусловлен старением приемной поверхности. Старение было заметно и на глаз: с приемной поверхности выпадали куски черного и белого покрытия, вследствие чего в марте 1955 г. пиранометр пришлось снять с площадки. Срок службы данного пиранометра составил $3\frac{1}{2}$ года. Наивероятнейшее значение a_n (280) определяется по срочным наблюдениям с ошибкой в 5% и по сравнительным наблюдениям с ошибкой в 3—4%.

Поправочные множители C_p приведены в табл. 3; они показывают, что при обработке данных пиранометра АС 4×4 —2814 за счет использования неточного нормального переводного множителя $\bar{a}_n(R_d)$ возникают систематические ошибки от -6 до $+7\%$.

Таблица 3

Поправочные множители C_p для исправления значений нормального переводного множителя a_n пиранометра АС 4×4 —2814

Месяц Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1952	1.05	1.05	1.02	—	1.00	1.03	1.04	1.04	1.01	1.01	1.02	0.96
1953	0.93	0.93	0.99	1.00	1.01	1.00	1.00	0.99	1.02	1.06	0.99	0.99
1954	1.00	1.00	1.01	1.02	1.03	1.02	1.02	1.04	1.04	1.05	1.02	1.03
1955	1.03	1.05	1.06	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Пиранометр РС—2445. Летом 1954 г. прибор работал на ржаном поле, а начиная с марта 1955 г. до настоящего времени на площадке для проведения срочных наблюдений. Ход a_n (129) со временем показывает, что в течение 1954 и 1955 гг. a_n (129) практически постоянно. Погрешности определения a_n (129) в случае срочных наблюдений составляют 3% и в случае сравнительных наблюдений — $1 \div 2\%$, т. е. меньше, чем при пиранометре АС 4×4 —2814.

В табл. 4 помещены поправочные множители для исправления нормальных переводных множителей. Мы видим, что поправки остаются в пределах точности.

Из вышеуказанного следует, что срок службы разных пиранометров различен и значительно меньше, чем у термоэлектрических актинометров. По-разному происходит и старение пиранометров. По-видимому, для термоэлектрических пиранометров в общем характерно уменьшение их чув-

ствительности со временем, по нашим данным на 1—35% в год. В связи со старением может заметно измениться и спектральная чувствительность пиранометров.

Таблица 4

Поправочные множители C_p для исправления значений нормального переводного множителя a_n пиранометра РС—2445

Месяц Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1954	—	—	—	—	1.00	1.00	1.03	1.01	1.00	—	—	—
1955	—	—	1.00	1.00	0.98	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98

3. Влияние каустики на показание пиранометра при измерении отраженной радиации

Известно, что в случае солнечной погоды при измерении R_Q на стеклянный колпак пиранометра попадут лучи прямой радиации. Стекло-образный колпак, работающий в качестве собирающей линзы, сможет в некоторых случаях направлять сходящийся таким образом пучок прямой радиации на приемную поверхность пиранометра, вследствие чего на последней образуется некоторое белое пятно в виде клина — каустика. У большинства шахматных пиранометров белое пятно остается вне приемных клеток и только в редком случае может попасть на угловую черную клетку.

В случае радиально-симметричных пиранометров пятно может попасть и на внутренние белые и черные клетки, а также в зазоры между ними. Если пятно попадет на черную клетку, то значение R_Q будет завышено, если на белую, то, наоборот, занижено.

Для экспериментальной поверки и оценки влияния каустики на показания пиранометра при измерении R_Q нами был проведен ряд опытов с различными пиранометрами. Оказалось, что в случае пиранометра, обращенного вниз, влияние каустики на показания пиранометра начинается при определенной высоте солнца, далее, при уменьшении h_{\odot} это влияние возрастает, при некоторой высоте h_{\odot} достигает максимума, а затем исчезает.

В табл. 5 приведены высоты солнца для начала, максимального влияния и конца влияния каустики некоторых пиранометров.

Таблица 5

Пределы влияния каустики

	РС—2445	АС 4 × 4—2814	АП 3 × 3—374
Начало влияния каустики	31°	30.5°	37°
Максимум влияния каустики	22.5°	10°	13.5°
Конец влияния каустики	4.5°	— 2°	8°

Из этой таблицы видно, что зимой в условиях Тарту каустика оказывает влияние на R_Q в течение всего солнечного дня, летом в продолжение большей части дня. Наличие этого влияния зависит от расположения пиранометра относительно солнца. При измерении R_Q вероятность падения пятна на черную приемную клетку в случае шахматных пиранометров мала. Но дело значительно ухудшается в случае радиально-симметричных пиранометров, где при определенных h_{\odot} , когда влияние каустики существует, пятно всегда падает либо на белую, либо на черную клетку, либо в зазор между ними. Как показали измерения, в последнем случае значение R_Q завышено, как и в случае черной клетки.

Таким образом, в случае шахматных пиранометров влияние каустики может завязать данные R_Q , но вероятность этого невелика. В случае радиально-симметричных пиранометров же влияние каустики всегда существует в соответствующих пределах h_{\odot} , вследствие чего данные R_Q могут быть либо завышены, либо занижены, в зависимости от места падения светового пятна.

Для количественной оценки этого влияния были определены $\Delta R = R_2 - R_1$, где R_2 — отраженная радиация при незатененном от прямой радиации колпаке пиранометра и R_1 — отраженная радиация при затененном колпаке (влияние каустики отсутствует). Разница ΔR должна бы зависеть от прямой радиации S : если $S = 0$, то $\Delta R = 0$, если $S = \text{макс}$, то и $\Delta R = \text{макс}$.

Таблица 6

Влияние каустики при измерении отраженной радиации

Пиранометр	ΔR	S
РС—2445	0.061	0.63
	0.121	1.23
АС 4 × 4—2814	0.030	1.03
	0.032	1.04
	0.056	1.28
	0.062	1.28
АП 3 × 3—312	0.027	1.06
	0.029	1.06
	0.010	1.27
	0.010	1.27

В табл. 6 приводятся разницы ΔR и S в кал/см²мин. некоторых пиранометров в случае максимального влияния каустики, когда пятно света находится на черной клетке.

В случае радиально-симметричного пиранометра РС—2445, когда пятно света находилось на белой клетке, $\Delta R = -0.008$ при $S = 0.62$.

Из вышеизложенного вытекает, что в определенных условиях влияние каустики на R_Q может быть очень большим особенно для радиально-симметричных пиранометров (до 0.12 кал/см²мин.), вследствие чего значения

альбедо A_Q могут быть завышены даже больше чем на 100%. Исключить эту ошибку при уже сделанных измерениях невозможно, так как ΔR зависит от положения пиранометра, которое невозможно определить задним числом.

Для устранения влияния каустики на обращенный вниз пиранометр необходимо затенять его от прямой радиации. Начиная с 1956 г. пиранометры в Тарту снабжены черным диском, диаметр которого равен 30 см. Пластинка находится непосредственно под пиранометром и защищает стеклянный колпак от прямой солнечной радиации.

Кроме того, было оценено затеняющее влияние окрашенной в черный цвет актинометрической установки при измерении отраженной радиа-

ции R_Q . Экспериментально было установлено, что при пасмурной погоде и снежном покрове R_Q под установкой занижено в среднем на 12%, а в случае травяного покрова на 3%. В случае оголенной почвы влияния установки не удалось обнаружить.

Можно предположить, что при ясной погоде это влияние, выраженное в процентах, значительно меньше. По этой причине наши значения R_Q и A_Q вследствие затеняющего эффекта актинометрической установки занижены (в случае снежного покрова в среднем на 10%, в случае травяного покрова на 2%).

4. О влиянии окружающего травяного покрова на определение альbedo оголенной почвы

Площадка оголенной почвы размерами 8×10 м² под актинометрической установкой была окружена травяным покровом, альbedo которого A_2 в общем отличается от альbedo оголенной почвы A_1 . Измеренное пиранометром альbedo A_Q связано по [6] с A_1 и A_2 соотношением

$$A_Q = A_1 \frac{r^2}{h^2 + r^2} + A_2 \frac{h^2}{h^2 + r^2},$$

где $r = 5.2$ м — эффективный радиус оголенной площадки,

$h = 1.5$ м — высота пиранометра при измерении отраженной радиации.

Поскольку действительное альbedo изучаемой поверхности A_1 , то поправочный множитель C_0 будет

$$C_0 = \frac{A_1}{A_Q} = \frac{1 - \frac{A_2}{A_Q} b}{1 - b}, \text{ где } b = \frac{h^2}{h^2 + r^2} = 0.0805.$$

В табл. 7 приведены среднемесячные значения

$$A_2 = \frac{\sum R_{\text{раст}}}{\sum Q} \text{ и } A_Q = \frac{\sum R_Q}{\sum Q}$$

за 1953 и 1954 гг., полученные в Тарту, и вычисленные нами соответствующие поправочные множители C_0 .

Таблица 7

Влияние окружающей поверхности при измерении альbedo оголенной почвы

Месяц	1953 г.			1954 г.		
	A_Q	A_2	C_0	A_Q	A_2	C_0
V	0.19	0.22	0.98 ₅	0.17	0.20	0.98
VI	0.18	0.21	0.98 ₅	0.20	0.21	0.99 ₅
VII	0.17	0.21	0.98	0.20	0.23	0.98 ₅
VIII	0.16	0.22	0.96 ₅	0.17	0.22	0.97 ₅
1—10	0.14	0.25	0.93			
11—20	0.15	0.29	0.93	0.17	(0.28)	(0.94)
21—30	0.15	0.31	0.90 ₅			
X	0.15	(0.30)	(0.91)	0.17	(0.30)	(0.93 ₅)

Примечание. В скобках приведены экстраполированные величины.

Из рассмотрения данных этой таблицы вытекает, что наличие травяного покрова вокруг площадки оголенной почвы увеличивает результаты измерений на 0,5—9,5%. Это увеличение учитывалось, как мы ниже увидим, при исправлении тартуских данных.

5. Окончательные поправки для исправления данных измерений пиранометрами в Тарту за 1953—1955 гг.

В предыдущих параграфах и в первой части работы [51] был выявлен и приближенно оценен целый ряд систематических ошибок, снижающих точность измерений пиранометрами в Тарту. С целью устранения влияния различных систематических ошибок были определены соответствующие поправочные множители.

Ниже будет оценено их суммарное действие и определены окончательные поправочные множители для каждого вида радиации.

Рассеянная радиация D . При исправлении данных рассеянной радиации D , измеряемой пиранометрами Янишевского, следует различать случаи ясного и пасмурного неба, так как от этого зависит спектральные и зональные поправки пиранометров. Кроме того, следует исправлять значения нормального переводного множителя. Окончательные поправочные множители C_D для исправления данных срочных наблюдений D определялись по следующим формулам:

$$\text{Ясное небо } *: C_{D\odot} = C_p K_{D\odot} = C_p L_{D\odot} F_{D\odot};$$

$$\text{Пасмурное небо: } C_{D_n} = C_p K_{D_n} = C_p L_{D_n} F_{D_n};$$

$$D_{\text{испр}} = C_D D,$$

где C_p — поправочный множитель для исправления a_n ;

$L_{D\odot}$ и L_{D_n} — спектральные поправочные множители;

$F_{D\odot}$ и F_{D_n} — зональные поправочные множители;

$K_D = L_D F_D$ (табл. 5 в первой части работы [51]).

Значения $C_{D\odot}$ и C_{D_n} за 1953—1955 гг. приведены в табл. 8.

Суммарная радиация Q . Исправление данных суммарной радиации сложнее, так как Q определяется по формуле $Q = D + S \sin h_{\odot} = D + S'$, где D определена пиранометром, а S актинометром.

$Q_{\text{испр}}$, очевидно, будет:

$Q_{\text{испр}} = D_{\text{испр}} + S'_{\text{испр}} = C_{D\odot} D + C_S S'$ и соответственный поправочный множитель

$$C_{Q\odot} = \frac{Q_{\text{испр}}}{Q} = \frac{C_{D\odot} + C_S \frac{S'}{D}}{1 + \frac{S'}{D}}.$$

Вследствие того, что отношение $\frac{S'}{D}$ меняется даже в течение дня, множитель $C_{Q\odot}$ для месяца может быть дан только приближенно. Для исправления срочных наблюдений Q целесообразнее $Q_{\text{испр}}$ найти из исправленных данных D и S' .

* Условно небо считали ясным при облачности 0—3 балла, пасмурным при облачности 4—10 баллов.

Множители $C_{D\odot}$ и C_{D_n} были применены и для исправления данных ΣD , определенных по пиранографу.

Исправление данных ΣQ , определенных соляриграфом, проводилось следующим образом:

Для исправления ΣQ для каждого месяца определялись $C_{Q\odot}$ по формуле

$$C_{Q\odot} = \frac{C_{D\odot} + C_S \frac{\Sigma S'}{\Sigma D}}{1 + \frac{\Sigma S'}{\Sigma D}},$$

где $\Sigma S'$ и ΣD — месячные суммы и C_S — поправочные множители для прямой солнечной радиации.

Исправление ΣQ производилось непосредственно по формуле

$$\Sigma_{\text{час}} Q_{\text{испр}} = C_{D\odot} \Sigma_{\text{час}} D + C_S \left(\Sigma_{\text{час}} Q - \Sigma_{\text{час}} D \right).$$

При пасмурной погоде $C_{Q\text{п}} = C_{D\text{п}}$.

В табл. 8 приведены значения $C_{Q\odot}$ для каждого месяца за 1953—1955 гг. для исправления ΣQ .

Отраженная радиация R_Q . Исправление данных отраженной радиации сложнее всего. Здесь прежде всего необходимо учитывать поправку C_p , а также спектральные и зональные поправки, которые различны для каждого вида отражающей поверхности. Кроме того, было учтено затеняющее влияние актинометрической установки и влияние окружающей поверхности. Учет влияния каустики невозможен, как это выяснено в § 3. Окончательный поправочный множитель C_R для исправления данных срочных наблюдений отраженной радиации, полученных по пиранометру Янишевского, определяется по формуле

$$C_R = C_p K_R C_0 C_y,$$

где C_p — поправочный множитель для исправления значений нормального переводного множителя a_n ;

$K_R = L_R F_R$ — поправочный множитель для учета влияния спектрального и зонального состава отраженной радиации R_Q (табл. 5 в первой части работы [5]);

C_0 учитывает влияние окружающей поверхности. При оголенной почве $C_0 < 1$ (табл. 7), в остальных случаях $C_0 = 1$.

C_y учитывает влияние актинометрической установки. При снеге $C_y = 1.10$, при травяном покрове $C_y = 1.02$ и при оголенной почве $C_y = 1.00$.

При исправлении данных R_Q мы не рассматривали отдельно случаев ясного и пасмурного неба. Были вычислены $C_{R\odot}$ и $C_{R\text{п}}$, из которых брались средние, использованные при исправлениях. Значения C_R для каждого месяца 1953—1955 гг. приведены в табл. 8.

По данным этой таблицы можно сделать следующие выводы:

1. За счет систематических ошибок, связанных с конструкцией пиранометров, данные рассеянной радиации в Тарту при ясной погоде в общем занижены, при пасмурной погоде — завышены.

2. При ясной погоде данные рассеянной радиации занижены в 1953 г. примерно на 1%, в 1954 г. примерно на 3%, а в 1955 г. на 11%.

3. При пасмурной погоде данные рассеянной радиации завышены в 1953 г. на 8%, в 1954 г. на 7%, а в 1955 г. на 2%.

4. Данные суммарной радиации в 1953 г. завышены в среднем на 1%, в 1954 г. занижены на 1%, а в 1955 г. — на 2—3%.

5. Данные отраженной радиации зимой в общем занижены, летом, наоборот, завышены. В 1953 г. значения R_Q в Тарту завышены в среднем на 6%, в 1954 г. на 3%, а в 1955 г. занижены на 1—2%.

6. Систематические ошибки при отдельных измерениях могут быть в 2—3 раза больше, в зависимости от конкретных приборов и условий погоды.

Таблица 8

Окончательные поправки для исправления компонентов коротковолнового радиационного баланса в Тарту за 1953—1955 гг.

Год		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1953	$C_{D_{\odot}}$	0.94	0.94	1.00	1.01	1.02	1.01	1.01	1.00	1.02	1.06	1.00	1.00
	$C_{D_{\Pi}}$	0.85	0.85	0.91	0.92	0.93	0.92	0.92	0.91	0.93	0.97	0.91	0.91
	$C_{Q_{\odot}}$	0.94	0.94	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.01	1.03	1.00	1.00
	C_R	0.98	0.98	1.05	0.97	0.95	0.94	0.92	0.90	0.87	0.90	0.93	0.97
1954	$C_{D_{\odot}}$	1.01	1.01	1.02	1.03	1.04	1.03	1.03	1.05	1.05	1.06	1.03	1.04
	$C_{D_{\Pi}}$	0.92	0.92	0.92	0.93	0.94	0.93	0.93	0.95	0.95	0.96	0.93	0.94
	$C_{Q_{\odot}}$	1.00	0.99	1.01	1.02	1.02	1.01	1.00	1.00	1.01	1.02	1.01	1.01
	C_R	1.05	1.05	0.98	0.97	0.95	0.96	0.96	0.97	0.93	0.93	0.97	1.01
1955	$C_{D_{\odot}}$	1.03	1.06	1.10	1.13	1.10	1.10	1.12	1.13	1.13	1.13	1.12	1.11
	$C_{D_{\Pi}}$	0.94	0.96	0.98	1.00	0.97	0.97	0.98	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98
	$C_{Q_{\odot}}$	1.01	1.01	1.02	1.02	1.01	1.01	1.03	1.05	1.05	1.05	1.05	1.06
	C_R	1.08	1.10	1.12	1.13	1.00	1.00	1.01	1.02	1.02	1.00	1.04	1.11

Заключение

На основании результатов, полученных в работе, можно утверждать, что пиранометры не лишены систематических ошибок, занижающих качество и надежность актинометрических данных, в связи с чем необходима дальнейшая работа по их усовершенствованию.

Основными источниками погрешностей при измерениях пиранометрами являются влияния спектральной и зональной чувствительности (при измерении отраженной радиации) и влияния каустики и актинометрической установки (зимой). При усовершенствовании пиранометров следовало бы в первую очередь вести исследования по следующим направлениям:

1. Уменьшение спектральной избирательности белых приемных клеток пиранометра и удлинение срока их жизни.
2. Уменьшение зональной чувствительности и доведение до минимума различия $F(h)$ отдельных пиранометров.
3. Уничтожение влияния каустики.
4. Изучение изменения спектральной чувствительности со временем.
5. Разработка более точных лабораторных методов для определения $F(h)$.

Кроме того, при оценке влияния спектральной и зональной чувствительности необходимы данные о спектральном и пространственном распределении рассеянной и отраженной радиации и об их изменении в зави-

симости от метеорологических условий, которыми в настоящее время мы не обладаем в достаточном количестве. Их получение представляло бы и самостоятельный интерес.

Поскольку мероприятия для повышения качества актинометрических приборов непосредственно связаны с их производством на заводе, представляется целесообразным создание при заводе хорошо оборудованной научной лаборатории по контролю, детальному исследованию и совершенствованию актинометрических приборов.

В заключение автор работы выражает глубокую благодарность Ю. Д. Янишевскому за ценные указания в ходе выполнения работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. А. Покровская, Труды ГГО, вып. 46(108), 1955, стр. 112—119.
2. Руководство по поверке актинометрических приборов, ч. I, 1952; ч. II, 1954.
3. В. Г. Кастров, Труды ЦАО, вып. 8, 1952, стр. 3—26.
4. Н. И. Чельцов, Труды ЦАО, вып. 8, 1952, стр. 36—66.
5. Ю. К. Росс, Изв. АН ЭССР, Серия техн. и физ.-мат. наук, № 1, 1957, стр. 3—18.
6. В. Н. Кедрович и М. С. Стернзат, Метеорологические приборы, Гидрометеиздат, 1955.

*Институт физики и астрономии
Академии наук Эстонской ССР*

Поступила в редакцию
10 X 1956

KIIRGUSE MÕOTMISEST JANISEVSKI TUUPI PÜRANOMEETRITEGA

J. Ross

Resüme

Janiševski püranomeetri konstandi ja selle parameetrite olenevus temperatuurist määratakse kindlaks eksperimentaalselt. Vastupidi seni valitsenud arvamusele võib jätta arvestamata temperatuuri mõju püranomeetri mõõtmisandmete ümbertöötamisel. Püranomeetri konstandi ajalise muutumise uurimine näitab, et esineb selle konstandi suurenemine, mis igal püranomeetril toimub erineva kiirusega, 1—35% aastas.

Käesolevas töös antakse hinnang ka kaustika ja maapinna heterogeensuse mõjule maapinnalt peegeldunud kiirguse mõõtmisel püranomeetriga. Radiaalsümmeetriliste püranomeetrite puhul võivad peegeldunud kiirguse väärtused olla kuni 100% suurendatud; ruuduliste püranomeetrite puhul on häiriv mõju märksa väiksem.

Mulla albedo mõõtmisel on maapinna heterogeensuse häiriv mõju Tartus kuni 10%.

Töös on kindlaks määratud paranduskoefitsiendid Tartu Aktinomeetrialaboratooriumis aastail 1953—1955 püranomeetritega teostatud mõõtmistulemuste korrigeerimiseks.

Jõutakse järeldusele, et Janiševski püranomeetrite konstruktsioon nõuab parandamist, kuna nende süstemaatilised vead võivad mõõtmistulemusi moonutada kuni 20%.

*Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Füüsika ja Astronoomia Instituut*

Saabus toimetusse
10. X 1956

STRAHLUNGSMESSUNGEN MIT HILFE DES PYRANOMETERS VON JANISCHEWSKY

J. Ross

Zusammenfassung

Durch experimentelle Untersuchungen werden die Temperaturabhängigkeit und die im Laufe der Zeit eintretende Veränderung der Eichkonstanten beim Pyranometer von Janischewsky geprüft, sowie der kaustische Einfluss bei Messungen der von der Erdoberfläche reflektierten Strahlung abgeschätzt.

Die zusammengefasste Wirkung der im ersten und zweiten Teil behandelten systematischen Fehler bei pyranometrischen Messungen, die in den Jahren 1953—1955 im Aktinometrischen Laboratorium zu Tartu (Dorpat) durchgeführt worden sind, wird mit Hilfe von Korrektionskoeffizienten berichtigt.

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die Konstruktion des Pyranometers von Janischewsky weiterer Vervollkommnung bedarf, da die systematischen Fehler die Messergebnisse bis zu 20% entstellen.

*Institut für Physik und Astronomie
der Akademie der Wissenschaften der Estnischen SSR*

Eingegangen
am 10. Okt. 1956