

Министерство образования и науки Российской Федерации
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

К.Л. Восканян, А.Г. Саенко

АКТИНОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Пособие для учебной практики



Санкт-Петербург

2010

УДК 551.5

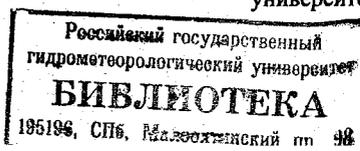
Восканян К.Л., Саенко А.Г. Актинометрические наблюдения. Пособие для учебной практики – СПб.: РГГМУ, 2010. – 54 с.

Рецензент: Мельникова И.Н. д-р физ.-мат. наук, проф., зав. лаб. центра экологической безопасности СПб РАН

Учебное пособие подготовлено на кафедре экспериментальной физики атмосферы и предназначено для использования при проведении учебной практики по дисциплинам: «Общая метеорология», «Методы метеорологических измерений». Рекомендуется для студентов-метеорологов 2 и 3 курсов дневного отделения.

© Восканян К.Л., Саенко А.Г., 2010

© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2010



Предисловие

Актинометрия — наука о солнечном, земном и атмосферном излучении в условиях атмосферы. Это один из основных факторов определяющих климат той или иной географической местности.

Измерения основных актинометрических величин (прямой солнечной радиации, рассеянной радиации неба, суммарной солнечной радиации, отраженной земной поверхностью радиации, теплового баланса земли) проводятся на всех метеорологических станциях, расположенных по всему земному шару и образующих сеть гидрометеорологической службы.

Метеорологические наблюдения ведутся на этих станциях по единым методикам, с использованием однотипных приборов и в определенные часы суток (срочные наблюдения).

Выезжая на практику, студенты ежедневно проводят срочные наблюдения, в том числе они проводят измерения актинометрических величин.

Практика — отличный способ попробовать себя и поближе познакомиться со своей будущей профессией, кроме того, у студентов появляется возможность применить при работе теоретические знания, полученные ими.

Наиболее важно для будущих инженеров-метеорологов на практике освоить все связанное с измерением актинометрических величин, так как это обычно выполняется на метеорологических станциях.

В данном учебном пособии содержатся подробные сведения об актинометрических величинах, даны их определения, единицы измерения и формулы для их вычисления.

В нем также представлены краткие сведения из теории актинометрических наблюдений, приведены метеорологические параметры и оптические характеристики атмосферы, определяемые при выполнении актинометрических наблюдений. Кроме того, подробно описана подготовка к выполнению и порядок проведения измерений при выполнении срочных наблюдений при различных состояниях диска Солнца.

В пособии даётся назначение и описание основных актинометрических приборов, которые широко используются в сети гидрометеорологической службы. Приводятся расчеты характеристик прозрачности атмосферы и высоты Солнца.

Также в пособии показан порядок проведения актинометрических измерений, обработки полученных результатов и ведения стандартной документации в соответствии с наставлениями и другими руководящими документами.

Данное издание было написано в соответствии с последним выпуском Наставлений гидрометеорологическим станциям и постам выпуск 5, часть 1. В нем также были использованы материалы следующих изданий: Руководство к учебной практике по метеорологии, Руководство гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям, Руководство к учебной практике по метеорологии.

Пособие было специально разработано с учетом особенностей проведения практических занятий для студентов-метеорологов РГГМУ и других средних и высших специализированных учебных учреждений.

1. Актинометрические величины и их единицы

Актинометрические наблюдения выполняются на сети для изучения радиационного режима, определяющего в значительной степени климат территорий и условия жизнедеятельности человека, а также для решения практических задач в различных отраслях хозяйственной деятельности.

Актинометрия – раздел геофизики, в котором изучается энергия, излучаемая Солнцем, поверхностью Земли и атмосферой и её преобразования.

Основным источником энергии для Земли является Солнце. Солнечное излучение на пути к земной поверхности частично поглощается атмосферой, частично достигает уровня земной поверхности, а частично уходит в пространство. Таким образом, солнечное излучение, приходящее к земной поверхности, может быть направленным (идушим от Солнца), и рассеянным (идушим из всех точек небесного свода).

Достигая земной поверхности, солнечное излучение частично отражается, неотражённая часть излучения поглощается деятельным слоем и превращается в тепло. В свою очередь, земная поверхность является источником теплового излучения, направленного в атмосферу. Атмосфера, поглощая тепловое и солнечное излучение, также является источником теплового излучения, направленного как к земной поверхности, так и в мировое пространство.

Слой земной поверхности, в котором происходит поглощение радиации, называется деятельным слоем. Его толщина зависит от свойств поверхности и может составлять от долей сантиметра (для уплотнённой почвы) до десятков метров (для прозрачной воды). В метеорологии, в качестве равнозначного термина чаще пользуются термином “подстилающая поверхность”.

В актинометрии изучают энергетическую освещённость, т. е. плотность потока излучения приходящего от Солнца, атмосферы и земной поверхности, на перпендикулярную к лучу плоскость. Её принято называть радиацией. В зависимости от источника излучения и, следовательно, спектрального состава в актинометрии различают солнечную, земную и атмосферную радиацию.

Солнечная радиация на 98% сосредоточена в интервале длин 0,3 – 4,0 мкм, в актинометрии её называют коротковолновой радиацией. Земная и атмосферная радиация занимает спектральную область 4 – 100 мкм, в актинометрии её называют длинноволновой радиацией. Излучение, приходящее на определённой длине волны, называется спектральным. Радиация, измеренная во всей спектральной области от 0,3 до 100 мкм в актинометрии называется интегральной радиацией.

Радиация с длинами волн от 0,002 до 0,4 мкм называют ультрафиолетовой, она невидима, т. е. не воспринимается глазом. Радиация от 0,40 до 0,75 мкм – это видимый свет, воспринимаемый глазом. Свет с длиной волны около 0,40 мкм – фиолетовый, с длиной волны около 0,75 мкм – красный. На промежуточные длины волн приходится свет всех цветов спектра. Радиация с длинами волн более 0,75 мкм и до сотен микрометров называется инфракрасной, она также невидима.

Солнечную (коротковолновую) радиацию подразделяют на прямую S (от диска Солнца), рассеянную D (от небесной сферы) и отражённую коротковолновую R_K (от подстилающей поверхности) (рис. 1).

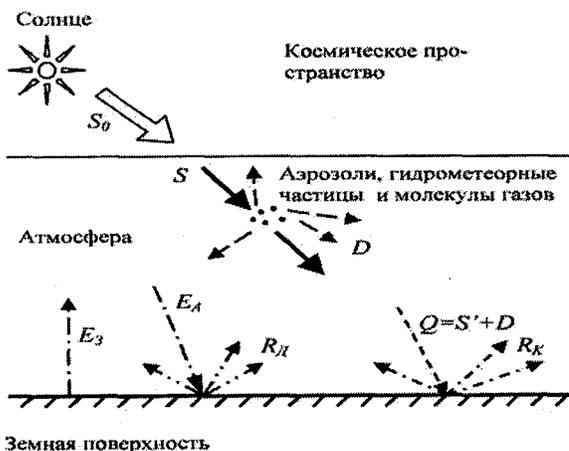


Рис.1. Схема радиационных потоков в атмосфере.

S_0 – солнечная радиация на верхней границе атмосферы, S – прямая солнечная радиация, D – рассеянная радиация, Q – суммарная коротковолновая радиация, R_K – отражённая коротковолновая радиация, E_A – длинноволновое излучение атмосферы, R_D – отражённое длинноволновое излучение, E_3 – длинноволновое излучение земли.

Земная (длинноволновая) радиация E_3 создаётся тепловым излучением подстилающей поверхности, которое для большинства видов поверхности Земли близко к излучению абсолютно чёрного тела.

Под атмосферной радиацией E_A понимают энергетическую освещённость, создаваемую тепловым излучением атмосферы.

Тепловое излучение атмосферы, отражённое от подстилающей поверхности, создаёт отражённую атмосферную радиацию R_d , но её значения малы по сравнению с земной радиацией E_3 и при изучении радиационного режима величину R_d обычно не учитывают.

Сетевые приземные актинометрические наблюдения включают определение комплекса взаимосвязанных между собой характеристик солнечного излучения, достигающего земной поверхности, и теплового излучения естественных земных объектов, в том числе и атмосферы, а также ряда дополнительных параметров состояния атмосферы и земной поверхности, влияющих на процессы трансформации солнечного излучения и характеризующих условия наблюдений. По результатам непосредственных измерений определяют пять основных видов радиации (прямую солнечную, рассеянную, суммарную, отражённую коротковолновую радиацию и радиационный баланс), по значениям которых вычисляют ряд дополнительных характеристик (коротковолновое альbedo подстилающей поверхности, балансы коротковолновой и длинноволновой радиаций). Если нет дополнительных указаний, то имеется в виду, что полученные данные относятся к горизонтальной поверхности на высоте 1,5 м от земной поверхности.

В практике актинометрических наблюдений прямой солнечной радиацией S называют энергетическую освещённость, создаваемую излучением, поступающим в виде практически параллельного пучка лучей от диска Солнца и лучей от околосолнечной зоны радиусом 5° , на поверхности, перпендикулярной направлению солнечных лучей (рис.1). За пределами земной атмосферы на расстоянии, равном среднему расстоянию между Землёй и Солнцем, эта величина принята равной $S_0=1,367 \text{ кВт/м}^2$ и называется солнечной постоянной. На уровне моря при высоком положении Солнца и хорошей прозрачности наблюдается $S=1,05 \text{ кВт/м}^2$. Перед заходом Солнца путь проходимый лучом в атмосфере увели-

чивается более чем в 30 раз по сравнению с путём при Солнце в зените и $S \approx 0,14 \text{ кВт/м}^2$. Прямую солнечную радиацию на горизонтальной поверхности S' вычисляют по значению S по формуле

$$S' = S \sin h, \quad (1)$$

где h – высота Солнца в момент наблюдения. Прямая солнечная радиация измеряется актинометром, контрольным прибором служит пиргелиометр.

Рассеянной радиацией D называют энергетическую освещённость, создаваемую рассеянным в атмосфере солнечным излучением, поступающим на горизонтальную поверхность от всего небосвода (из телесного угла 180°), за исключением диска Солнца и околосолнечной зоны радиусом 5° . При безоблачном небе рассеиваются преимущественно коротковолновые лучи, при этом энергетическая освещённость может достигать $0,28 \text{ кВт/м}^2$ только при высокой мутности атмосферы. При высоких облаках, не затеняющих видимый диск Солнца, наблюдается максимум рассеянной радиации $D=0,70 \text{ кВт/м}^2$. При пасмурном небе спектр рассеянной радиации сходен с солнечным. Рассеянная радиация измеряется пиранометром, затенённым от прямой радиации.

Суммарная радиация Q включает рассеянную и прямую солнечную на горизонтальную поверхность, т. е.

$$Q = D + S'. \quad (2)$$

Суммарная радиация в пасмурную погоду состоит из одной только рассеянной радиации, т. е. $Q = D$. Максимальное значение Q может достигать $1,47 \text{ кВт/м}^2$. При средней мутности атмосферы и при Солнце в зените $Q_{90^\circ}=1,12 \text{ кВт/м}^2$, а при высоте Солнца 10° $Q_{10^\circ}=0,13 \text{ кВт/м}^2$. Суммарная радиация измеряется пиранометром без его затенения, она может быть также вычислена по показаниям затенённого пиранометра и актинометра.

Отражённая коротковолновая радиация R_K создаётся коротковолновым излучением, отражённым от подстилающей поверхности. Отражённую радиацию измеряют пиранометром, установленным на высоте не менее $0,5 \text{ м}$ от поверхности земли и обращённым приёмником вниз. Пиранометр, специально приспособленный для опрокидывания, или двойной пиранометр называется альбедометром.

Отношение отражённой коротковолновой радиации к суммарной является характеристикой подстилающей поверхности и называется коротковолновым альбедо A_K , т. е.

$$A_K = \frac{R_K}{Q}. \quad (3)$$

Из естественных поверхностей земли максимальным альбедо обладает свежевыпавший снег ($A_K = 0,9$ или 90 %), а минимальным — глубокий чистый водоём при высоком Солнце ($A_K \approx 0,06$ или 6%).

В целом приход радиации к горизонтальной поверхности складывается из прямой солнечной радиации S' , рассеянной радиации D и атмосферной радиации E_A . Уходящая от подстилающей поверхности радиация складывается из отражённой коротковолновой радиации R_K , отражённой длинноволновой радиации R_D и излучения земной поверхности E_3 . Разность между энергетическими освещённостями, создаваемыми приходящим и уходящим от подстилающей поверхности излучением, называют радиационным балансом B . С другими видами радиации он связан следующим образом:

$$B = D + S' + E_A - R_K - E_3 - R_D. \quad (4)$$

Величина B может также рассматриваться как сумма баланса коротковолновой радиации B_K и баланса длинноволновой радиации B_D , т. е.

$$B = B_K + B_D. \quad (5)$$

Баланс коротковолновой радиации, или коротковолновый баланс B_K , представляет собой разность между суммарной и отражённой радиацией, т. е.

$$B_K = Q - R_K = D + S' - R_K = Q(1 - A_K). \quad (6)$$

Величина B_K характеризует поглощение коротковолнового излучения подстилающей поверхностью.

Баланс длинноволновой радиации, или длинноволновый радиационный баланс B_D , представляет собой разность между атмосферной радиацией E_A , земной радиацией E_3 и отражённой длинноволновой радиацией R_D , т. е.

$$B_D = E_A - E_3 - R_D. \quad (7)$$

Величина B_D , взятая с обратным знаком, называется эффективным излучением подстилающей (деятельной) поверхности и обозначается $E_{ЭФ}$. Атмосферная E_A , земная E_3 и отражённая длинноволновая радиация R_D при выполнении актинометрических наблюдений не определяются. Косвенным путём определяются только коротковолновый B_K и длинноволновый B_D баланс.

Величина радиационного баланса B определяется в результате непосредственных измерений, с помощью балансомера или по формуле

$$B = (B - S') + S', \quad (8)$$

где $B - S'$ – радиационный баланс без прямой солнечной радиации, измеренный непосредственно по затенённому балансомеру.

Коротковолновый баланс измеряют пиранометром в двух положениях, как и при определении A_K , но вычисляют разность показаний:

$$B_K = Q - R_K. \quad (9)$$

Длинноволновый баланс вычисляется по формуле:

$$B_D = B - B_K = B - Q + R_K. \quad (10)$$

Ночью, в темное время суток или после захода Солнца, значение B_K равно нулю и радиационный баланс B определяется только балансом длинноволновой радиации, т. е. ночью $B = B_D$.

Интегральный коэффициент прозрачности P определяется из закона Буге:

$$S = S_0 P^m, \quad (11)$$

где S – плотность потока прямой радиации, S_0 – солнечная постоянная, P – коэффициент прозрачности, m – число относительных оптических масс атмосферы, проходимых солнечными лучами в атмосфере в момент измерения S . При расчёте пренебрегают отличием солнечной постоянной от её величины при среднем расстоянии между центрами Земли и Солнца $S_0 \approx 1,367 \text{ кВт/м}^2$.

Фактор мутности, предложенный Линке, характеризует наблюдаемую прозрачность по отношению к постоянной прозрачно-

сти так называемой идеальной атмосферы, т. е. атмосферы, не содержащей водяных паров и взвешенных аэрозольных частиц. Фактор мутности T рассчитывается по формуле

$$T = \frac{\lg P}{\lg P_i}, \quad (12)$$

где P_i – коэффициент прозрачности идеальной атмосферы

В качестве единицы измерения радиации на сети Росгидромета используют киловатт на квадратный метр ($\text{кВт}/\text{м}^2$). Суммы радиации выражают в мегаджоулях на квадратный метр ($\text{МДж}/\text{м}^2$). В таблицах, справочниках, монографиях значения радиации и её сумм могут быть представлены в других единицах. Для возможности сравнения значений, выраженных в различных единицах, следует использовать соотношения:

$1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$;	$1 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин}) = 0,698 \text{ кВт}/\text{м}^2$;
$1 \text{ кВт}/\text{м}^2 = 1000 \text{ Вт}/\text{м}^2$;	$1 \text{ кал}/\text{см}^2 = 0,0419 \text{ МДж}/\text{м}^2$;
$1 \text{ кВт}/\text{м}^2 = 0,1 \text{ Вт}/\text{см}^2$;	$1 \text{ ккал}/\text{см}^2 = 41,9 \text{ МДж}/\text{м}^2$;
$1 \text{ МДж}/\text{м}^2 = 100 \text{ Дж}/\text{см}^2$;	$1 \text{ кал}/\text{см}^2 = 4,19 \text{ Дж}/\text{см}^2$.

Срочные актинометрические наблюдения предусматривают выполнение измерений вручную в установленные сроки при помощи актинометрических датчиков с показывающими измерительными приборами характеристик солнечного излучения и определение дополнительных характеристик условий наблюдений. По результатам срочных наблюдений определяют значения видов радиации и коэффициент прозрачности атмосферы в момент наблюдения, а также месячные суммы этих видов радиации.

Комплекс характеристик солнечного излучения (составляющих радиационного баланса) включает прямую солнечную радиацию, рассеянную радиацию, суммарную радиацию, отражённую коротковолновую радиацию, коротковолновое альbedo подстилающей поверхности, радиационный баланс, баланс коротковолновой радиации, баланс длинноволновой радиации.

Комплекс характеристик состояния атмосферы и земной поверхности включает количество и форму облаков, цвет неба, состояние диска Солнца, метеорологическую дальность видимости, состояние подстилающей поверхности, температуру воздуха, парциальное давление водяного пара, температуру поверхности почвы.

При срочных наблюдениях погрешность ΔJ определения прямой солнечной, рассеянной, суммарной, отражённой радиации и радиационного баланса вычисляется по формуле и округляется до $0,01 \text{ кВт/м}^2$:

$$\Delta J = b + c J, \quad (13)$$

где J – измеренное значение радиации (кВт/м^2), b и c – коэффициенты, значения которых указаны в таблице.

Вид радиации и её обозначение	b	c
Прямая солнечная радиация S	0,01	0,023
Рассеянная радиация D	0,01	0,07
Суммарная радиация Q	0,02	0,03
Отражённая радиация R	0,01	0,14
Радиационный баланс B	0,01	0,20

Погрешность ΔP_2 определения коэффициента прозрачности атмосферы P_2 при высоте Солнца более 17° не превышает $0,02$.

Погрешность определения характеристик дополнительной информации при выполнении актинометрических наблюдений: определение температуры производится с погрешностью не более 1°C , парциального давления водяного пара – не более $0,1 \text{ ГПа}$, продолжительность солнечного сияния – не более 10 мин за сутки, скорость ветра – не более 1 м/с .

2. Актинометрические приборы

Почти все актинометрические приборы основаны на определении изменения температуры теплочувствительных элементов под воздействием радиации. Радиация поглощается чувствительным элементом и превращается в тепло. Изменение температуры чувствительного элемента прибора, пропорциональное энергетической освещённости, измеряется термоэлементами или термобатареями.

Основными измерительными приборами являются термоэлектрические: актинометр, пиранометр, балансомер. Определяемые виды радиации при попадании на приемную поверхность этих приборов преобразуются в электрический ток, который измеряется гальванометром. Поэтому при нахождении радиационных потоков

каждого прибора в паре с гальванометром вычисляется переводной множитель:

$$a = \frac{\alpha}{K \cdot 1000} (R_b + R_r + R_d), \quad (14)$$

где K – чувствительность приемной поверхности измерительного прибора (мВ/кВт); α – цена деления гальванометра в микроамперах (10^{-6} А), R_b и R_r – сопротивление термоэлектрической батареи и рамки гальванометра (Ом), R_d – добавочное сопротивление если оно используется при измерениях (Ом).

Перечисленные характеристики указываются в проверочных свидетельствах приборов.

Актинометр термоэлектрический М-3 (АТ-50) (рис. 2).

Прибор предназначен для измерений прямой солнечной радиации S , кроме того, используется в качестве образцового прибора для определения чувствительности пиранометров и балансомеров.

Для наблюдений на актинометрической стойке с неподвижной стрелой трубку 7 устанавливают с помощью штатива 10–11, который ориентируют стрелкой на север, затем ослабляют винт 2 и ставят сектор широт 9 по широте. Ослабляют винт 3 и, вращая трубку 7 и рукоятку 6, нацеливают трубку на Солнце. Ось 8 штатива и рукоятка 6 расположены по оси мира, и поэтому, вращая рукоятку 6, можно вести трубку за Солнцем, лишь изредка поправляя наклон трубки по склонению вращением на оси 4. Нацеливание производится с помощью экрана 5 на нижнем конце трубки, где должна концентрично располагаться тень от оправы входного окна. Для более точного нацеливания служит отверстие в оправе трубки 7 и черная точка на белой поверхности экрана 5, на которую устанавливается световой зайчик. При работе на актинометрической стойке с подвижной стрелой наводку осуществляют только вращением осей 4 и 8 и не осуществляют установку актинометра на север и по широте. Крышка 1 надевается на трубку для контроля места нуля. В комплекте также имеется футляр для защиты актинометра от внешних воздействий в промежутках между наблюдениями.

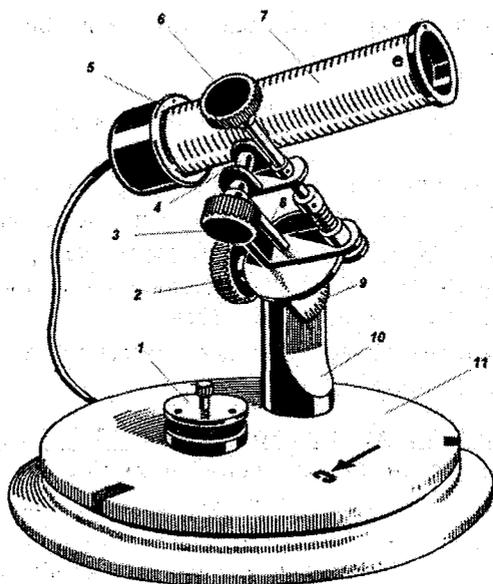


Рис. 2. Актинометр термоэлектрический М-3 (АТ-50).

Приёмником актинометра служит диск из сусального серебра толщиной 0,003 мм и диаметром 11 мм, расположенный в конце трубки 7. Обращённая к Солнцу сторона серебряного диска покрыта матово-чёрной эмалью, а к обратной стороне приклеена папирсная бумага толщиной 0,009 мм и 26 спаев термобатареи из константана и манганина в форме ленточек, расположенных звездообразно. Внешние спаи приклеены через бумажную изоляцию к медному кольцу. В трубке имеются семь постепенно сужающихся к приёмнику радиации диафрагм, обеспечивающих угол зрениа прибора в 10° .

Выводы термобатареи присоединяются к гальванометру, показания которого пропорциональны термоэлектродвижущей силе, а она пропорциональна разности температур центральных и периферийных спаев, а эта разность пропорциональна интенсивности радиации.

Перед наблюдением открытая трубка нацеливается на Солнце на 2 мин для просушки черни на приёмнике. Затем крышка надевается и через 25 с отсчитывается место нуля. Через 25 с после снятия крышки можно производить наблюдения.

Контроль чувствительности актинометра производится параллельными наблюдениями по пиргелиометру или по хорошо проверенному образцовому актинометру. Проверка актинометра по пиргелиометру производится только при высотах Солнца больше 22° , при голубом небе и при отсутствии облаков на расстоянии 20° вокруг Солнца.

Термоэлектрический пиранометр М-80М (рис.3). Прибор предназначен для измерения суммарной радиации Q , отражённой коротковолновой R_K , а также рассеянной D , при использовании теневого экрана.

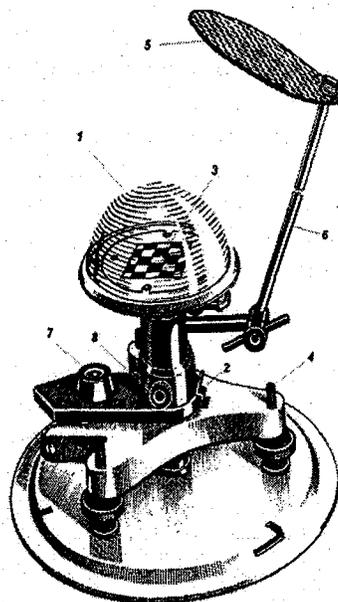


Рис. 3. Термоэлектрический пиранометр М-80М.

Выпускается пиранометр с приёмником М-115, у которого квадратная термобатарея 3 окрашена в чёрно-белый цвет в виде шахматной доски. Чёрные поля закрашены платиновой чернью и закопчены сажей с коэффициентом поглощения $\delta=0,985$, которая поглощает коротковолновую и длинноволновую радиацию, а белые поля закрашены магнезией, поглощающей только длинноволновую радиацию. Поля по-разному поглощают солнечную посту-

пающую радиацию и нагреваются пропорционально поглощённой радиации. Термобатарея размером 32x32 мм составлена из плоских ленточек манганина и константана, уложенных зигзагообразно и составляющих 87 термоэлементов. Ленты последовательно спаяны в 32 полосы. Приёмник пиранометра 1 защищается от ветра и гидрометеоров полусферическим стеклянным колпаком, пропускающим радиацию в диапазоне от 0,33 до 3 мкм.

При измерениях на актинометрической стойке с неподвижной стрелой приёмник может быть установлен горизонтально с помощью уровня 7 и винтов 4. Теневой экран 5 — диск диаметром 85 мм прикрепляется к стержню 6 длиной 485 мм, причём диск виден из центра термобатареи под углом 10° , что позволяет исключить попадание прямой солнечной радиации на приёмник. Для затенения ослабляют винт 8 и стойка поворачивается стержнем к Солнцу. Рассеянную радиацию измеряют при затенённом приёмнике.

Для измерения отражённой радиации пиранометр, установленный на планке толщиной до 2 см, отгибая пружину 2, опрокидывают приёмником вниз. Поверхность участка под пиранометром должна быть горизонтальна и в радиусе 5 м покрыта естественной растительностью.

При работе на актинометрической стойке с подвижной стрелой М-13а используют только приёмник радиации М-115. Все операции по горизонтированию, затенению и опрокидыванию производят с помощью рукояток и регулировочных винтов актинометрической стойки. Стеклянный колпак пиранометра защищён от отражённой радиации чёрным плоским кольцевым защитным экраном, расположенным в плоскости приёмника. Экран защищает колпак также и от радиации неба при измерениях отражённой радиации.

К пиранометру придаётся крышка, надеваемая на приёмник для определения места нуля. Перед измерениями приёмник пиранометра облучают прямой радиацией для просушки. Постоянная времени пиранометра 7–9 с, что требует выдержки до 35–50 с для достижения устойчивого показания.

Контроль чувствительности пиранометра производится параллельными наблюдениями по образцовому актинометру и проверяемому пиранометру установленному в поверочную трубу ПО-11.

Термоэлектрический балансмер М-10М (рис.4). Прибор предназначен для измерения радиационного баланса B , а также радиационного баланса без прямой солнечной радиации $B-S'$, при использовании теневого экрана.

Балансмер представляет собой круглую плоскую пластинку 1 диаметром 100 мм с двумя квадратными чёрными приёмниками 2 на противоположных сторонах, отмеченных №1 и №2. Приёмные пластинки из меди зачернены матово-чёрной эмалью. При измерениях один приёмник обращён к исследуемой поверхности (вниз) и на него поступают коротковолновый поток отражённой солнечной радиации R_K и земное излучение E_3 вместе с отражённой частью длинноволнового R_D излучения атмосферы E_A и окружающих предметов. Другой приёмник, обращённый вверх, получает суммарную солнечную радиацию Q вместе с излучением атмосферы E_A . Следовательно, балансмер измеряет разность:

$$B = (S' + D + E_A) - (R_K + R_D + E_3). \quad (15)$$

При затенённом балансмере исключается S' , которая гораздо точнее вычисляется по показаниям актинометра.

Температура каждой пластины приёмника зависит от поглощённой радиации и отличается от температуры воздуха, а также зависит от скорости ветра, так как с увеличением скорости ветра усиливается конвективный теплообмен. Поэтому при измерении по балансмеру всегда производятся отчёты скорости ветра по анемометру, установленному на одном уровне с балансмером.

Влияние ветра на показания балансмера учитывают введением поправочного множителя Φ_V . Поправочным множителем к показаниям балансмера при ветре называется число, на которое нужно умножить показание балансмера при данной скорости ветра, чтобы получить показание балансмера при штиле.

Разность температур приёмных пластин, зависящая от баланса, измеряется термобатареями, спаи которых поочерёдно расположены у пластин. Термобатареи представляют собой медные бруски с намотанной на них константановой лентой, на половину каждого витка нанесён слой серебра толщиной 0,03 мм.

Для установки на актинометрическую стойку с неподвижной стрелой балансмер выпускается с двумя шаровыми шарнирами 3;

4 и теньевым экраном 5. При затенении экран должен быть виден из центра приёмника под углом 10° . При этом тень от шарнира с затенителем должна направляться в сторону шарнира с балансомером, а балансомер должен располагаться рукояткой перпендикулярно направлению на Солнце. Для такой установки планка с шарнирами прикрепляется к стойке одним винтом и при изменении азимута Солнца вращается вместе с балансомером.

При работе на актинометрической стойке с поворотной стрелой поворот балансомера осуществляют поворотом всей стойки. Затенение осуществляют теньевым экраном стойки.

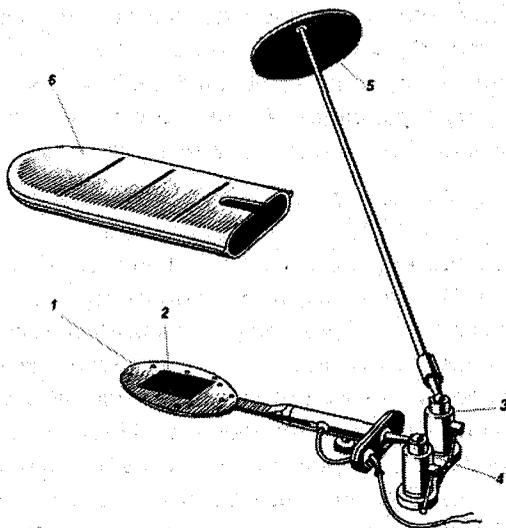


Рис. 4. Термоэлектрический балансомер М-10М

Поворачивая первую сторону вверх при высоком Солнце и открытом приёмнике, соединяют балансомер с гальванометром так, чтобы стрелка отклонялась вправо. Если балансомер подключается через переключатель, то такое положение переключателя отмечается знаком "+", причём знак меняется на обратный в следующих случаях:

- а) при отклонении стрелки влево от нуля,
- б) при переключении в другое отрицательное положение переключателя,

в) при переворачивании балансомера вторым приёмником.

Для защиты балансомера от осадков и пыли, между измерениями, используют специальный футляр 6.

Определение чувствительности производится сравнением показаний актинометра с показанием балансомера, установленного в поверочную трубу ПО-11.

Гальванометр ГСА-1М (рис.5). Гальванометр стрелочный актинометрический служит для измерения тока, возникающего в термобатареях термоэлектрических актинометрических приборов.

На корпусе гальванометра 1 снизу укреплены три клеммы 2, обозначения которых “+”, “Р” и “С” нанесены на крышке корпуса 3 сбоку. Выводы рамки гальванометра припаяны к клеммам “+” и “Р”. К клеммам “Р” и “С” припаяны выводы добавочного сопротивления. При включении гальванометра для измерения тока на клеммы “+” и “Р” в цепь тока включается только рамка гальванометра. При включении же гальванометра на клеммы “+” и “С” в цепь тока последовательно с рамкой гальванометра включается добавочное сопротивление.

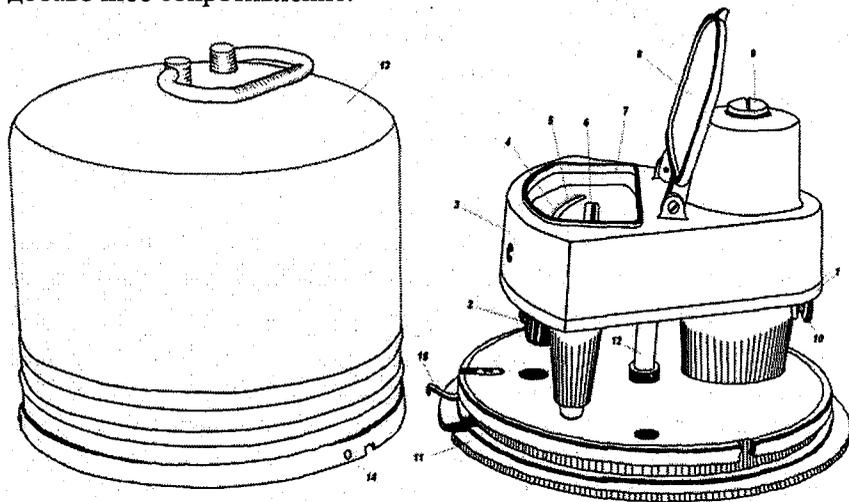


Рис. 5. Гальванометр ГСА-1М.

На выступах корпуса укреплена шкала 4, имеющая 100 делений. На шкале укреплены ограничители хода стрелки. В вырезе

шкалы укреплены зеркальная полоска 5 и термометр 6. На шкале нанесены: марка завода-изготовителя, год выпуска и заводской номер гальванометра, индекс гальванометра (ГСА-1), а также величины внутреннего сопротивления рамки и добавочного сопротивления гальванометра. В крышке корпуса сделан вырез, закрытый стеклом 7, через которое производятся отсчёты показаний гальванометра и термометра. Для защиты от повреждений стекло закрывается откидным щитком 8, на внутренней стороне которого изображена электрическая схема гальванометра.

В крышке корпуса укреплен винт корректора 9, поворотом винта устанавливается нулевое положение стрелки гальванометра. При отсутствии тока стрелка должна находиться на пятом делении шкалы. Это деление при дальнейшей работе принимается за начало отсчётов и называется "местом нуля".

Арретирование гальванометра осуществляется посредством винта 10. При ввинчивании винта электрическая цепь рамки гальванометра замыкается накоротко, в результате чего затухают колебания рамки, возникающие при перемещении гальванометра и толчках.

Гальванометр крепится к основанию футляра 11 специальным винтом 12 с резиновыми амортизаторами. Сверху гальванометр закрывается кожухом 13, который соединяется с основанием посредством штифтов 14, укрепленных на кожухе, и пружины 15.

При включении гальванометра в цепь тока возникает взаимодействие магнитных полей рамки с током и постоянных магнитов. Рамка поворачивается, и прикрепленная к ней стрелка перемещается вдоль шкалы. Угол поворота рамки, а следовательно, и смещение стрелки пропорциональны силе тока, проходящего через рамку.

Стойка актинометрическая М-13а (рис. 6). На стойке устанавливают актинометр, пиранометр и балансомер, предназначенные для выполнения срочных наблюдений.

Стойку М-13а крепят в грунте опорой 2 со стабилизаторами 1. Насадка 4 установлена на опоре 2. Горизонтальность стрелы 9 регулируют при помощи трёх винтов 3 по уровню установленному на стреле и фиксируют с помощью винта 5. Внутри направляющей трубы 10 проходит стрела 9, которую можно поворачивать в трубе 10 и фиксировать винтом 11. На стреле 9 крепят головку пиранометра 14 и балансомер 18.

Головку пиранометра 14 закрепляют при помощи хомутика 23 и винтов 24 и 22 с гайкой. Горизонтальность установки головки пиранометра в направлении, перпендикулярном оси стрелы, регулируют поворотом хомутика 23 на стреле 9. Экран 13 закреплён также на стреле 9 и предназначен для экранирования потока излучения из полусферы, противоположной направлению приёмной поверхности пиранометра.

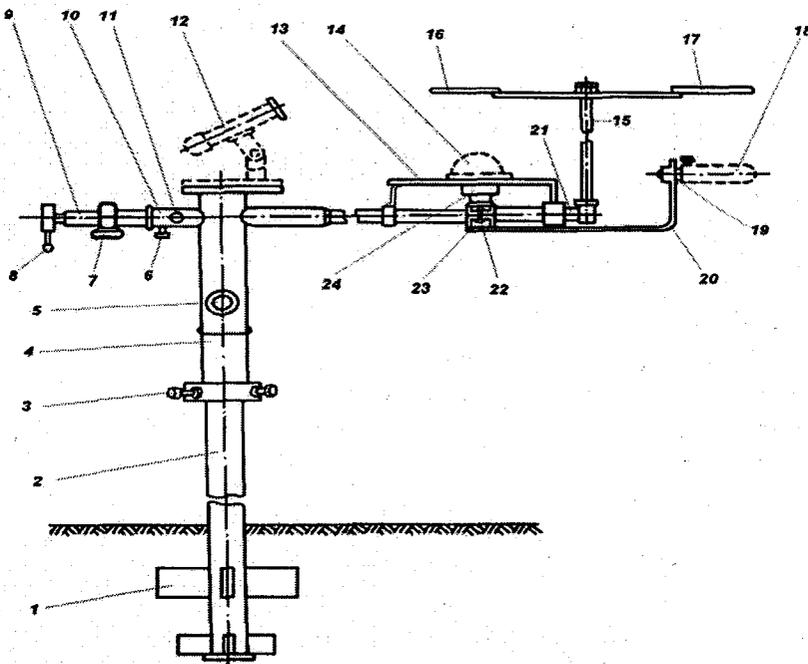


Рис. 6. Стойка актинометрическая М-13а

Балансомер 18 крепят на кронштейне 20 при помощи винта 19. Горизонтальность балансомера в направлении, перпендикулярном оси стрелы 9, регулируют поворотом винта 19 в кронштейне 20.

Для обращения головки пиранометра приёмной поверхностью вниз стрела 9 при зажатом винте 7 и оттянутом фиксаторе 6 поворачивается за рукоятку 8 на 180° до щелчка фиксатора 6.

Внутри стрелы 9 проходит ось 21, на которой закреплён стержень 15 с двумя теньевыми экранами для головки пиранометра 16 и

балансомера 17. Поворот стержня 15 с теньвыми экранами 16 и 17 вокруг оси стрелы 9 производят при опущенном винте 7 поворотом стержня 21 за рукоятку 8. Для фиксации положения оси 21 внутри стрелы 9 предусмотрена тормозная колодка, управляемая винтом 7. Для затенения пиранометра и балансомера стрелу необходимо повернуть в положение перпендикулярное направлению на Солнце.

Актинометр 12 устанавливают вместе с его штативом на горизонтальной плите, которой заканчивается верхняя часть насадки 4, и крепят винтами.

В комплекте стойки входит также решетчатый настил для удобства при выполнении наблюдений.

К северо-северо-западу от актинометрической стойкой на расстоянии 1,5–2 м устанавливается стойка с ящиком для установки гальванометров. При наблюдениях по балансомеру необходимо одновременно измерять скорость ветра на уровне балансомера. Для этого на расстоянии 2–3 м от актинометрической стойки устанавливается подставка для анемометра.

В местах установки приборов для выполнения наблюдений закрытость горизонта в направлениях восхода и захода Солнца должна быть не более 3° по угловой высоте, а в остальных направлениях – не более 5° .

3. Расчёт высоты Солнца

В практике используют следующие категории времени: истинное солнечное, среднее солнечное, поясное, декретное, московское.

Истинное солнечное время измеряется часовым углом τ , отсчитанным от верхней кульминации Солнца (самое высокое в течение суток положение над пунктом наблюдения). Промежуток времени между двумя нижними кульминациями называют гражданскими сутками и за ноль часов истинного времени принимают момент нижней кульминации (полночь). Движение Земли в течение года неравномерное, вследствие чего продолжительность суток меняется. Для того чтобы можно было в счёте времени пользоваться сутками одинаковой продолжительности, введено понятие среднего солнечного времени. Продолжительность средних солнечных суток одинакова в течение всего года и равна средней за год продолжи-

тельности истинных солнечных суток. Разность между средним солнечным и истинным временем Δt называют уравнением времени. Среднее солнечное время называют также местным временем.

Земной шар условно разделён по меридианам на 24 участка шириной по 15° , которые названы часовыми поясами. Нулевым поясом считают зону, центр которой проходит по нулевому (Гринвичскому) меридиану. Пояса пронумерованы в восточном направлении от Гринвичского меридиана и имеют номера от 0 до 23. Центры каждого из следующих поясов проходят через меридианы, кратные 15° , т. е. через меридианы на долготе 15° , 30° , 45° и так далее, называемые центральными. Местное время каждого центрального меридиана распространяется на весь часовой пояс и называется поясным временем. Время двух соседних поясов различается на 1 ч. На практике границы часового пояса не всегда совпадают с зоной, отстоящей на $7,5^\circ$ по обе стороны от центрального меридиана, а зачастую определяется границами административных или экономически связанных районов.

Декретное время было введено декретом правительства СССР, в соответствии с которым стрелки часов переведены на 1 ч вперёд по отношению к поясному времени, т. е. декретное время больше поясного на 1 ч. В некоторых регионах вводится летнее время. В Российской Федерации зимнее время больше поясного на 1 ч (совпадает с декретным), а летнее время больше поясного на 2 ч (больше декретного на 1 ч).

Для расчёта высоты h Солнца определяют истинное время t_\odot по формуле:

$$t_\odot = t_m + \Delta t, \quad (16)$$

где Δt — поправка к среднему солнечному времени, значения которой в минутах приведены в табл. 1, t_m — среднее солнечное время (ч и мин), которое можно рассчитать по формуле:

$$t_m = t_D + \Delta t_D, \quad (17)$$

где t_D — декретное время пункта наблюдений, время которое передают по местному радио (ч и мин) зимой совпадает с декретным временем, а летом больше на один час, Δt_D — поправка к декретному времени, которая является величиной постоянной для данного пункта наблюдений (мин). Значение Δt_D вычисляют по формуле:

$$\Delta t_D = 4(\lambda - 15N) - 60, \quad (18)$$

где λ – долгота пункта наблюдений, взятая с точностью до $0,1^\circ$, N – номер часового пояса пункта наблюдений, который можно определить по формуле:

$$N = 2 + (t_D - t_{МСК}), \quad (19)$$

где t_D – декретное время пункта наблюдений, $t_{МСК}$ – декретное московское время, 2 – номер часового пояса Москвы.

Вычисляют значение часового угла τ на момент наблюдения, учитывая знак, по формуле:

$$\tau = 15(t_\ominus - 12), \quad (20)$$

где t_\ominus – истинное время выраженное в часах и десятых долях часа. Находят склонение δ Солнца по табл. 2.

Находят значения $\sin \varphi$, $\sin \delta$, $\cos \varphi$, $\cos \delta$ и $\cos \tau$, в которых φ – широта пункта наблюдений в $^\circ$, δ – склонение Солнца на момент наблюдений в $^\circ$, τ – часовой угол в момент наблюдений в $^\circ$. Вычисляют значение $\sin h$ по формуле

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \tau \quad (21)$$

Значение $\sin h$ вычисляют с точностью до 0,001. Высота Солнца h определяется как $\arcsin h$.

Если величина h по формуле (21) получается менее 5° , то величина $\sin h$ должна быть исправлена на рефракцию. Поправки на рефракцию вводятся по следующей таблице:

sin h по формуле (21)		Поправка на рефракцию $\Delta \sin h$
от	до	
-0,010	-0,008	0,010
-0,007	0,002	0,009
0,003	0,018	0,007
0,019	0,038	0,005
0,039	0,087	0,003

Эти поправки всегда положительны, т. е. они должны прибавляться к вычисленным по формуле величинам $\sin h$.

Поправки Δt к среднему солнечному времени в минутах

День месяца для года		Месяц											
простого	високосного*	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	1	-3	-13										
1	2	-3	-14	-13	-4	+3	+2	-4	-6	0	+10	+16	+11
2	3	-4	-14	-12	-4	+3	+2	-4	-6	0	+10	+16	+11
3	4	-4	-14	-12	-4	+3	+2	-4	-6	0	+11	+16	+10
4	5	-5	-14	-12	-3	+3	+2	-4	-6	+1	+11	+16	+10
5	6	-5	-14	-12	-3	+3	+2	-4	-6	+1	+11	+16	+10
6	7	-6	-14	-12	-3	+3	+2	-4	-6	+1	+12	+16	+9
7	8	-6	-14	-11	-2	+4	+2	-5	-6	+2	+12	+16	+9
8	9	-6	-14	-11	-2	+4	+1	-5	-6	+2	+12	+16	+8
9	10	-7	-14	-11	-2	+4	+1	-5	-6	+2	+12	+16	+8
10	11	-7	-14	-11	-2	+4	+1	-5	-5	+3	+13	+16	+8
11	12	-8	-14	-10	-1	+4	+1	-5	-5	+3	+13	+16	+7
12	13	-8	-14	-10	-1	+4	0	-6	-5	+3	+13	+16	+7
13	14	-8	-14	-10	-1	+4	0	-6	-5	+4	+14	+16	+6
14	15	-9	-14	-10	-1	+4	0	-6	-5	+4	+14	+16	+6
15	16	-9	-14	-9	0	+4	0	-6	-5	+5	+14	+16	+5
16	17	-10	-14	-9	0	+4	0	-6	-4	+5	+14	+15	+5
17	18	-10	-14	-9	0	+4	0	-6	-4	+5	+14	+15	+4
18	19	-10	-14	-8	0	+4	-1	-6	-4	+6	+15	+15	+4
19	20	-11	-14	-8	+1	+4	-1	-6	-4	+6	+15	+15	+3
20	21	-11	-14	-8	+1	+4	-1	-6	-4	+6	+15	+14	+3
21	22	-11	-14	-8	+1	+4	-1	-6	-3	+7	+15	+14	+2
22	23	-12	-14	-7	+1	+4	-2	-6	-3	+7	+15	+14	+2
23	24	-12	-14	-7	+2	+3	-2	-6	-3	+7	+16	+14	+1

Окончание таблицы 1

1																			
24	25	-12	-14	-7	+2	+3	-2	-6	-3	+8	+16	+14	+1						
25	26	-12	-13	-6	+2	+3	-2	-6	-2	+8	+16	+13	0						
26	27	-12	-13	-6	+2	+3	-2	-6	-2	+8	+16	+13	0						
27	28	-13	-13	-6	+2	+3	-3	-6	-2	+9	+16	+13	-1						
28	29	-13	-13	-5	+2	+3	-3	-6	-1	+9	+16	+12	-1						
29	30	-13		-5	+3	+3	-3	-6	-1	+9	+16	+12	-2						
30	31	-13		-5	+3	+3	-3	-6	-1	+10	+16	+12	-2						
31		-13		-4		+3		-6	-1		+16		-3						

* Этой графой следует пользоваться в високосные годы (2000, 2004, 2008 г. и т.д.) для получения истинного времени в январе и феврале, а в остальные месяцы – первой графой (простой год).

Склонение Солнца δ в градусах

День месяца для года		Месяц											
прос- того	високос- ного*	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	1	-23,0	-17,4										
1	2	-23,0	-17,2	-7,7	+4,4	+15,0	+22,0	+23,1	+18,2	-8,4	-3,1	-14,3	-21,8
2	3	-22,9	-16,9	-7,3	+4,8	-15,3	+22,2	+23,1	+17,9	+8,0	-3,5	-14,7	-21,9
3	4	-22,9	-16,6	-6,9	+5,2	+15,6	+22,3	+23,0	+17,7	+7,7	-3,8	-15,0	-22,1
4	5	-22,8	-16,4	-6,6	+5,6	-15,9	+22,4	+22,9	+17,3	+7,3	-4,2	-15,3	-22,2
5	6	-22,6	-16,0	-6,2	+6,0	+16,2	+22,5	+22,8	+17,1	+6,9	-4,6	-15,6	-22,3
6	7	-22,5	-15,7	-5,8	+6,3	+16,5	+22,6	+22,7	+16,8	+6,6	-5,0	-15,9	-22,5
7	8	-22,4	-15,4	-5,4	+6,7	+16,7	+22,7	+22,6	+16,5	+6,2	-5,4	-16,2	-22,6
8	9	-22,3	-15,1	-5,0	+7,1	+17,0	+22,8	+22,5	+16,2	+5,8	-5,8	-16,5	-22,7
9	10	-22,1	-14,8	-4,6	+7,5	+17,3	+22,9	+22,4	+16,0	+5,4	-6,2	-16,8	-22,8
10	11	-22,0	-14,4	-4,2	+7,8	+17,5	+23,0	+22,3	+15,7	+5,0	-6,5	-17,1	-22,9
11	12	-21,9	-14,1	-3,8	+8,2	+17,8	+23,1	+22,2	+15,4	+4,7	-6,9	-17,3	-23,0
12	13	-21,7	-13,8	-3,4	+8,6	+18,1	+23,1	+22,0	+15,1	+4,3	-7,3	-17,6	-23,1
13	14	-21,5	-13,5	-3,0	+8,9	+18,3	+23,2	+21,9	+14,8	+3,9	-7,7	-17,9	-23,1
14	15	-21,4	-13,1	-2,6	+9,3	+18,6	+23,3	+21,7	+14,5	+3,5	-8,0	-18,2	-23,2
15	16	-21,2	-12,8	-2,2	+9,7	+18,8	+23,3	+21,6	+14,2	+3,1	-8,4	-18,4	-23,3
16	17	-21,0	-12,4	-1,9	+10,0	+19,0	+23,3	+21,4	+13,8	+2,8	-8,8	-18,7	-23,3
17	18	-20,8	-12,1	-1,5	+10,4	+19,3	+23,4	+21,3	+13,5	+2,4	-9,1	-18,9	-23,4
18	19	-20,6	-11,7	-1,1	+10,7	+19,5	+23,4	+21,1	+13,2	+2,0	-9,5	-19,2	-23,4
19	20	-20,4	-11,4	-0,7	+11,1	+19,7	+23,4	+20,9	+12,9	+1,6	-9,9	-19,4	-23,4
20	21	-20,2	-11,0	-0,3	+11,4	+19,9	+23,4	+20,7	+12,6	+1,2	-10,2	-19,6	-23,4
21	22	-20,0	-10,7	+0,1	+11,8	+20,1	+23,4	+20,5	+12,2	+0,8	-10,6	-19,9	-23,4
22	23	-19,7	-10,3	+0,5	+12,1	+20,3	+23,4	+20,3	+11,9	+0,4	-11,0	-20,1	-23,4

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
23	24	-19,5	-9,9	+0,9	+12,4	+20,5	+23,4	+20,1	+11,6	+0,1	-11,3	-20,3	-23,4
24	25	-19,3	-9,6	+1,3	+12,8	+20,7	+23,4	+19,9	+11,2	-0,3	-11,7	-20,5	-23,4
25	26	-19,0	-9,2	+1,7	+13,1	+20,9	+23,4	+19,7	+10,9	-0,7	-12,0	-20,7	-23,4
26	27	-18,8	-8,8	+2,1	+13,4	+21,1	+23,4	+19,5	+10,5	-1,1	-12,3	-20,9	-23,3
27	28	-18,5	-8,4	+2,5	+13,7	+21,3	+23,3	+19,3	+10,2	-1,5	-12,7	-21,1	-23,3
28	29	-18,3	-8,1	+2,9	+14,1	+21,4	+23,3	+19,1	+9,8	-1,9	-13,0	-21,3	-23,2
29	30	-18,0		+3,3	+14,4	+21,6	+23,3	+18,8	+9,5	-2,3	-13,4	-21,4	-23,2
30	31	-17,7		+3,7	+14,7	+21,7	+23,2	+18,6	+9,1	-2,7	-13,7	-21,6	-23,1
31		-17,5		+4,0		+21,9		+18,4	+8,8		-14,0		-23,1

* Этой графой следует пользоваться в високосные годы (2000, 2004, 2008 г. и т.д.) для получения склонения Солнца в январе и феврале, а в остальные месяцы — первой графой (простой год).

4. Общие указания по проведению срочных актинометрических наблюдений

На сети срочные актинометрические наблюдения должны проводиться 6 раз в сутки: в 0ч 30мин, 6ч 30мин, 9ч 30мин, 12ч 30мин, 15ч 30мин, 18ч 30мин по среднему солнечному времени. Дневными сроками считаются сроки в период суток, который начинается за 30 мин до восхода Солнца и заканчивается через 30 минут после его захода. Временем начала срочного наблюдения считается момент первого отсчёта по актинометрическому прибору, а момент окончания – момент последнего отсчёта.

При срочных наблюдениях должны проводиться измерения прямой солнечной, рассеянной, отражённой радиации и радиационного баланса, а также наблюдения за облачностью, температурой воздуха и подстилающей поверхности, парциальным давлением водяного пара, атмосферными явлениями, состоянием подстилающей (деятельной) поверхности, метеорологической дальностью видимости, цветом неба, состоянием диска Солнца.

Одно срочное наблюдение должно состоять из ряда серий измерений, количество которых зависит от условий измерений. Каждая серия в свою очередь должна включать ряд отсчётов, выполняемых по измерительным приборам с интервалами 10–15 с.

Отсчёты по гальванометрам должны сниматься до 0,1 деления шкалы. Значения скорости ветра должны округляться до 1 м/с. Все записи при проведении срочных наблюдений должны заноситься в книжку КМ-12.

5. Метеорологические параметры и оптические характеристики атмосферы, определяемые при выполнении актинометрических наблюдений

Форму и количество облаков определяют визуально. При наблюдении отмечают общее количество облаков и количество облаков нижнего яруса, а также формы всех наблюдаемых облаков. Вид и разновидность облаков не указывают. Если облака какой-либо формы присутствуют в количестве менее 0,5 балла, то рядом

с отметкой формы этих облаков в скобках указывают “сл.”, что означает – следы облаков.

Наличие облаков в зените определяют при общей облачности не более 3 баллов, при этом отмечают только формы облаков в зоне неба радиусом 30° относительно зенита. Если облаков в зените нет, то ставится отметка “Зясно”.

Состояние диска Солнца оценивают визуально в соответствии с табл. 3. Цвет неба определяется при общем количестве облаков не более 3 баллов по участку неба в зените. При наличии облаков в околозенитной зоне цвет неба не отмечают. Цвет неба определяют одной из четырёх градаций: синее, голубое, бледно-голубое, белёсое.

Таблица 3

Состояние солнечного диска и его обозначения в КМ-12

Состояние солнечного диска	Обозначение в КМ-12
На солнечном диске в зоне 5° от его центра (ширина ладони вытянутой руки) не заметно следов облаков, тумана, дыма, пыли	☉ ²
Солнце просвечивает сквозь облака, туман, дым, пыль; тени видны, актинометр можно нацелить на Солнце, а пиранометр – затенить	☉
Солнце слабо просвечивает, видно место его нахождения, но тени не видны, актинометр нельзя нацелить, а пиранометр – затенить	☉ ⁰
Солнечного диска не видно сквозь плотные облака	П
Солнечный диск не виден вследствие большой закрытости горизонта	—
Окрестности освещены Солнцем, но приборы на площадке затенены местными объектами	☉
Солнечный диск под горизонтом (ночью)	/

Метеорологическую дальность видимости оценивают визуально в баллах или измеряют с использованием средств измерений, применяемых на метеорологической станции.

Атмосферные явления определяются визуально. Перечень атмосферных явлений, их условные обозначения приведены в табл. 4.

При проведении актинометрических наблюдений в обязательном порядке должно отмечаться появление дыма над местом наблюдения, поскольку он понижает прозрачность атмосферы и влияет на радиацию. Если дым идёт только от отдельной трубы или костра и не распространяется над метеорологической площадкой, то наличие дыма должно указываться только в том случае, если дым или его следы наблюдаются перед диском Солнца.

Атмосферные явления и их условные обозначения

Атмосферное явление	Обозначение	Атмосферное явление	Обозначение
Смерч		Мгла	∞
Вихрь		Пыльный позёмок	\S
Шквал		Пыльная буря	\S
Роса		Дым	SS
Иней		Мгла снежная	∞
Гололёд		Позёмок	\updownarrow
Изморозь кристаллическая		Метель низовая	\updownarrow
		Метель общая	\leftrightarrow
Изморозь зернистая		Иглы ледяные	\leftrightarrow
Парение моря (озера, реки)	SSS	Ледяной дождь	Δ
		Крупа ледяная	Δ
Дымка		Крупа снежная	Δ
Туман		Зёрна снежные	Δ
Туман просвечивающий		Морось	\bullet
Туман поземный		Дождь	\bullet
Туман ледяной		Дождь ливневый	\downarrow
Туман ледяной про- свечивающий		Град	\blacktriangle
		Снег	\times
Туман ледяной поземный		Снег ливневый	\times
Туман в окрестностях станции		Снег мокрый	\times
Туман поземный в окрестностях станции		Снег ливневый мокрый	\times

Температуру воздуха определяют по сухому термометру, установленному в психометрической будке. Показание термометра отсчитывают с десятыми долями градуса, поправку к показанию термометра не вводят.

Парциальное давление водяного пара выписывают из результатов ближайшего метеорологического срока.

Температуру подстилающей (деятельной) поверхности отсчитывают по окончании срочного наблюдения по срочному (напочвенному) термометру, установленному при отсутствии снега на оголённом участке метеорологической площадки, а при наличии снежного покрова – на поверхности снега. Значение температуры

подстилающей поверхности округляют до целого градуса. Поправки к показаниям термометра не вводят.

Состояние подстилающей поверхности определяют визуально (табл. 5).

Таблица 5

Возможные состояния подстилающей поверхности

Поверхность	Состояние										
	растительности или почвы				снега или льда						вода
					чистый			загрязнённый			
	сухая	влажная	мокрая	замёрзшая	сухой	влажный	обледеневший	сухой	влажный	обледеневший	
Без снега											
без растительности	+	+	+	+							
Растительность											
редкая	+	+	+	+							
с просветами	+	+	+	+							
сплошная	+	+	+	+							
Снегом покрыто менее 50% поверхности											
без растительности					+	+	+	+	+	+	
растительность											
редкая					+	+	+	+	+	+	
с просветами					+	+	+	+	+	+	
сплошная					+	+	+	+	+	+	
Снегом покрыто более 50, но менее 100% поверхности											
Снегом покрыто 100% поверхности											
Лёд					+	+		+	+		
Вода											
спокойная											+
волнение до 3 баллов											+
волнение более 3 баллов											+
покрыта плёнкой нефти											+

ПРИМЕЧАНИЕ – Для растительности отмечается зелёная или пожелтевшая трава. Степень покрытия растительностью: редкая – покрыто менее 50% поверхности, с просветами – от 50 до 90%, сплошная – более 90%.

6. Условия проведения срочных наблюдений

Срочные актинометрические наблюдения должны проводиться при любых метеорологических условиях, за исключением указанных ниже случаев.

Срочные наблюдения не проводят:

- при сильном дожде;
- при скорости ветра более 20 м/с, включая порывы;
- при выпадении мокрого снега, задерживающегося на стеклянном колпаке пиранометра;
- при отложении гололёда и изморози в случае, когда невозможно очистить колпак пиранометра без повреждения.

Наблюдения по балансомеру не выполняются:

- при дожде, исключая случаи выпадения отдельных капель, и при сильной мороси;
- при снеге, если снежинки остаются на приёмной поверхности балансомера (не сдуваются ветром);
- при отложении гидрометеоров на приёмной поверхности балансомера (росы, инья, изморози, гололёда);
- при скорости ветра более 15 м/с.

Наблюдения по актинометру не выполняются при дожде и при ветре, задувающим в трубку актинометра и вызывающем колебания стрелки гальванометра в пределах более 5 делений.

7. Подготовка к выполнению срочного наблюдения

При срочном наблюдении все измерения должны выполняться по возможности при одном и том же состоянии диска Солнца. Поэтому перед началом срочного наблюдения необходимо произвести визуальную оценку возможности сохранения одного и того же состояния диска Солнца в течение времени, требуемого для выполнения измерений по актинометрическим приборам (около 10 мин при открытом диске Солнца и 6 мин при закрытом). При устойчивой радиации и стабильном состоянии диска Солнца срочное наблюдение должно начинаться в момент времени, соответствующий

щий сроку, с отклонением от него не более чем на 2 мин. В условиях меняющегося состояния диска Солнца допускается отступление от срока, но не более чем на 30 мин, а интервалы между отсчётами допускается увеличивать не более чем до 2 мин.

За 10 мин до начала измерений открыть ящик с гальванометрами и произвести их внешний осмотр. Подходить к актинометрической стойке разрешается только с северной стороны. Повернуть к себе стрелу актинометрической стойки, если стойка имеет неподвижную стрелу, то установить вдоль неё откидной настил и по нему подойти к датчикам. Снять футляры и крышки с датчиков и произвести их внешний осмотр. При обнаружении дефектов в состоянии датчиков по возможности устранить их до начала наблюдений. Сверить номер стороны балансомера, обращённой вверх, с номером, записанным в книжке КМ-12 текущего месяца. В случае несоответствия перевернуть балансомер. Необходимо помнить, что подходить к датчикам, установленным на стойке с неподвижной стрелой, разрешается только по откидному настилу, который в обязательном порядке должен убираться при выполнении измерений по балансомеру и обращённому вниз пиранометру.

Проверить состояние теневых экранов и возможность их фиксации в наклонном положении. Проверить горизонтальность положения гальванометров, пиранометра и балансомера и при необходимости откорректировать. Нацелить актинометр на Солнце. В случае если состояние диска Солнца ☉² или ☉ не предвидится в течение всего срока, то подготовку актинометра к измерениям не производить. Установить ручной анемометр на стойке и проверить его срабатывание.

8. Проведение измерений при выполнении срочных наблюдений

Произвести визуальные оценки количества и форм облаков, метеорологической дальности видимости, состояния подстилающей поверхности, атмосферных явлений и записать их. При облачности не более 3 баллов определить цвет неба и наличие облаков в зените.

Не позднее чем за 5 мин до начала измерений закрыть крышками актинометр и пиранометр, замкнуть накоротко выводы балансомера. Через 1 мин произвести отсчёты места нуля актинометра n_0 и

температуры T_2 по термометру гальванометра, подключённого к актинометру, и записать в книжку КМ-12. Отсчитать и записать значение места нуля n_6 по гальванометру подключённому к балансомеру. Через 2 мин после того, как был закрыт пиранометр, отсчитать место нуля n_n по подключённому к нему гальванометру.

Не позднее чем за 2 мин до начала срока снять крышку с пиранометра и развернуть его так, чтобы при измерениях он был направлен номером в азимутальном направлении на Солнце. Повернуть стрелу актинометрической стойки в рабочее положение. Затенить пиранометр и балансомер. Снять крышку с актинометра и откорректировать его нацеливание на Солнце. Разомкнуть выводы балансомера. Приступить к выполнению серий измерений.

8.1. Выполнение срочного наблюдения при состоянии Солнечного диска ☉² и ☉.

Серия 1. Откорректировать затенение пиранометра и нацеливание актинометра. Записать состояние диска Солнца и время начала наблюдений и ровно в срок выполнить три отсчёта N'_{DI} по затенённому пиранометру и два отсчёта N'_{SI} по актинометру в такой последовательности: N'_{DI} , N'_{SI} , N'_{DI} , N'_{SI} , N'_{DI} . Интервалы между отсчётами должны быть 10–15 с.

Серия 2. Откорректировать затенение балансомера. Записать состояние диска Солнца и откорректировать нацеливание актинометра. Выполнить три отсчёта V' по анемометру, три отсчёта N'_B по затенённому балансомеру, указывая знак, и два отсчёта N'_{SB} по актинометру в такой последовательности: V' , N'_B , N'_{SB} , V' , N'_B , N'_{SB} , V' , N'_B . При этом каждую пару отсчётов по балансомеру и анемометру снимать по возможности одновременно.

Серия 3. Установить пиранометр приёмной поверхностью вниз. Теневые экраны установить в горизонтальной плоскости, параллельной плоскости стрелы. Записать состояние Солнца, выждать 30 с для установления сигнала пиранометра, откорректировать нацеливание актинометра. Выполнить три отсчёта N'_R по обращённому вниз пиранометру и два отсчёта N'_{SR} по актинометру в такой последовательности: N'_R , N'_{SR} , N'_R , N'_{SR} , N'_R .

Серия 4. Установить пиранометр приёмной поверхностью вверх и затенить пиранометр. Не ранее чем через 30 с после затенения пиранометра откорректировать нацеливание актинометра,

записать состояние диска Солнца и выполнить три отсчёта N'_{D2} по затенённому пиранометру и два отсчёта по актинометру N'_{S2} в такой последовательности: $N'_{D2}, N'_{S2}, N'_{D2}, N'_{S2}, N'_{D2}$. Записать время окончания измерений.

8.2. Выполнение срочного наблюдения при состоянии Солнечного диска \odot^0 и П.

Стрелу актинометрической стойки повернуть на юг. Установить теньевые экраны в горизонтальной плоскости.

Серия 1. Записать время начала наблюдений и состояние диска Солнца. Ровно в срок выполнить три отсчёта N'_{D1} по пиранометру с интервалом 10–15 с между ними.

Серия 2. Отметить состояние диска Солнца. Выполнить три пары отсчётов по анемометру V' и балансомеру N'_B в такой последовательности: $V', N'_B, V', N'_B, V', N'_B$.

Серия 3. Установить пиранометр приёмной поверхностью вниз. Повернуть стрелу стойки на юг. Не ранее чем через 30 с после установки пиранометра отметить состояние диска Солнца и выполнить три отсчёта N'_R .

Серия 4. Установить пиранометр приёмной поверхностью вверх. Повернуть стрелу на юг. Отметить состояние диска Солнца. Через 30 с после установки пиранометра выполнить три отсчёта N'_{D2} . Отметить и записать время окончания срочного наблюдения.

По окончании выполнения серий измерений закрыть крышками и футлярами актинометр, пиранометр, балансомер и гальванометры. Снять анемометр.

Выполнить измерения и записать значения температуры воздуха и почвы. Из результатов ближайшего метеорологического срока записать значение парциального давления водяного пара в книжку КМ-12. При состоянии диска Солнца \odot^2 в случае, когда давление равно или ниже 950 гПа, записать также его значение.

Если при выполнении срочного наблюдения изменялись формы и количество облаков, то это должно быть отмечено в примечании. В примечании также делают запись, если продолжительность наблюдения была увеличена из-за увеличения интервалов между сериями или отсчётами.

Если при выполнении наблюдений стрелка гальванометра, подключённого к балансомеру, колеблется из-за порывистого вет-

ра или быстрого движения облаков перед диском Солнца, то необходимо, наблюдая в течение 1 мин за измерениями показаний гальванометра и анемометра, определить и записать минимальное и максимальное значения N'_B , а также минимальное и максимальное значение V' . Значения N'_B округлять до целого деления. В примечании указать: " N'_B — пределы".

В случае когда при состоянии диска Солнца \odot^2 показания гальванометра меняются от задувания ветра в трубку актинометра, то снять отсчёт, когда стихает порыв ветра и прекратятся колебания стрелки гальванометра; если колебания стрелки не прекращаются и пределы колебаний превышают 5 дел., то измерения по актинометру не выполнять и записать причину в примечании.

В случаях когда сигнал актинометра меняется из-за изменения состояния диска Солнца, нужно максимально сблизить моменты отсчётов по актинометру и пиранометру или балансомеру. При этом сразу же после отсчёта по пиранометру или балансомеру снять показание актинометра, не дожидаясь, пока стрелка остановится. В примечании указать, что состояние солнечного диска (СД) менялось: "*СД менялось*".

8.3. Выполнение срочного наблюдения в ночной срок.

Снять футляр с балансомера, проверить горизонтальность расположения датчика и повернуть стрелу на юг.

Замкнуть накоротко балансомер. Определить и записать количество и формы облаков, состояние подстилающей поверхности и атмосферные явления.

Отсчитать и записать место нуля балансомера n_6 . Проследить за тем, чтобы при выполнении измерений балансомер не освещался искусственными источниками света.

Записать время начала измерений и ровно в срок выполнить три пары отсчётов, по анемометру V' и по балансомеру N'_B в такой последовательности: $V', N'_B, V', N'_B, V', N'_B$. Записать время окончания измерений.

Закрыть балансомер футляром. Закрыть ящик с гальванометрами.

Выполнить измерения и записать значения температуры воздуха и почвы. Из результатов ближайшего метеорологического срока записать парциальное давление водяного пара.

9. Обработка результатов срочных наблюдений

При полной обработке определяют значения прямой солнечной S , рассеянной D , суммарной Q , отражённой (коротковолновой) радиации R_K , радиационного баланса B , альbedo (коротковолновое) подстилающей поверхности A_K , баланс коротковолновой радиации B_K , баланс длинноволновой радиации B_D , характеристику прозрачности атмосферы P и фактора мутности T .

Определить время срочного наблюдения как среднее из времени начала и окончания измерений и округлить до минуты.

Для каждой серии срочного наблюдения вычислить среднее значение $\bar{N}_{D1}, \bar{N}_B, \bar{N}_R, \bar{N}_{D2}$ из соответствующих им троек отсчётов $N'_{D1}, N'_B, N'_R, N'_{D2}$ и округлить до 1 деления.

По таблице шкаловых поправок соответствующего гальванометра найти значения шкаловых поправок $\Delta N_{D1}, \Delta N_B, \Delta N_R, \Delta N_{D2}$, учитывая знак, для отметок шкалы $\bar{N}_{D1}, \bar{N}_B, \bar{N}_R, \bar{N}_{D2}$ соответственно. Шкаловую поправку к показаниям гальванометра, подключенного к пиранометру или балансомеру, не вводить, если её значение менее 0,5 дел.

Вычислить исправленные значения отсчётов по формулам:

$$N_{D1} = \bar{N}_{D1} - n_{II} + \Delta N_{D1}, \quad (22)$$

$$N_B = \bar{N}_B - n_6 + \Delta N_B, \quad (23)$$

$$N_R = \bar{N}_R - n_{II} + \Delta N_R, \quad (24)$$

$$N_{D2} = \bar{N}_{D2} - n_{II} + \Delta N_{D2}, \quad (25)$$

где n_{II}, n_6 — значения места нуля пиранометра и балансомера соответственно, дел.

Из трёх отсчётов по анемометру V' определить среднюю скорость ветра V , округлив её до 1 м/с.

По результатам измерений с актинометром для каждой серии вычислить значения $\bar{N}_{S1}, \bar{N}_{SB}, \bar{N}_{SR}$ и \bar{N}_{S2} , как среднее из каждой пары отсчётов $N'_{S1}, N'_{SB}, N'_{SR}$ и N'_{S2} соответственно.

По таблице шкаловых поправок гальванометра, подключённого к актинометру, найти значения шкаловых поправок $\Delta N_{S1}, \Delta N_{SB}, \Delta N_{SR}, \Delta N_{S2}$ для отметок шкалы, равных $\bar{N}_{S1}, \bar{N}_{SB}, \bar{N}_{SR}, \bar{N}_{S2}$ соответственно. Вычислить исправленные значения $N_{S1}, N_{SB}, N_{SR}, N_{S2}$ по формуле:

$$N_S = \bar{N}_S - n_a + \Delta N_S, \quad (26)$$

где n_a — значение места нуля актинометра, дел.

Определить по данным поверочного свидетельства балансомера поправочный множитель Φ_V , соответствующий среднему значению измеренной скорости ветра V . Вычислить исправленное значение отсчёта N_{III} по формуле:

$$N_{III} = N_B \Phi_V. \quad (27)$$

Вычислить значения рассеянной D_1 и D_2 и отражённой R_K радиации по формулам:

$$D_1 = a_{II} N_{D1}, \quad (28)$$

$$D_2 = a_{II} N_{D2} \quad (29)$$

$$R_K = a_{II} N_R, \quad (30)$$

где a_{II} — переводной множитель пиранометра с гальванометром, кВт/(м² · дел), N_{D1}, N_{D2}, N_R — значения отсчётов с поправкой на место нуля и шкаловую поправку, дел.

Вычислить значение радиационного баланса без прямой солнечной радиации $B-S'$ по формуле:

$$B - S' = a_6 N_{III}, \quad (31)$$

где a_6 — переводной множитель балансомера с гальванометром, кВт/(м² · дел), N_{III} — значение отсчёта, исправленное на место нуля, шкаловую поправку и скорость ветра, дел.

При измерении с незатенённым балансомером значение радиационного баланса вычисляют по формуле:

$$B = a_6 N_{III}, \quad (32)$$

где $N_{ш}$ – значение, аналогичное указанному в формуле (31), но при незатенённом балансомере.

Вычислить значения прямой солнечной радиации S_1 по данным серии 1, S_B по данным серии 2, S_R по данным серии 3 и S_2 по данным серии 4 по формуле:

$$S = a_T N_S, \quad (33)$$

где a_T – значение переводного множителя актинометра с гальванометром, кВт/(м² · дел), при температуре T_T , отсчитанной по термометру гальванометра, °С, N_S – значение, полученное по формуле (26), дел.

Значение a_T необходимо взять из таблицы температурной зависимости актинометра с гальванометром для данной пары. Если наблюдение выполнено при температуре ниже минус 15 °С, то значение a_T берут для температуры воздуха.

Для каждой серии вычислить значение прямой солнечной радиации на горизонтальной поверхности S' по формуле:

$$S' = S \sin h, \quad (34)$$

где S – значение прямой солнечной радиации, полученное по формуле (33), кВт/(м² · дел), h – высота Солнца в момент середины срочного наблюдения в градусах.

Примечание : Полученные значения S и S' записываются на полях слева от соответствующей серии.

Дальнейшая обработка результатов срочных наблюдений, выполненных при состоянии диска Солнца ☉² или ☉ зависит от стабильности условий наблюдений. Стабильными считаются такие условия, при которых абсолютное значение разности между любой любой парой значений S'_1 , S'_B , S'_R и S'_2 не превосходит установленного допуска, в качестве которого приняты следующие значения:

- при S' , ниже 0,35 кВт/м² допуск равен 0,02 кВт/м²;
- при S' , равном или более 0,35 кВт/м², допуск равен 0,05 кВт/м².

При стабильных условиях значения суммарной радиации Q , радиационного баланса B , альbedo подстилающей поверхности A_K ,

баланс коротковолновой радиации B_K и баланс длинноволновой радиации B_D должны определяться по формулам:

$$Q = D_2 + S'_2, \quad (35)$$

$$B = (B - S') + S'_2, \quad (36)$$

$$A_K = R_K / Q, \quad (37)$$

$$B_K = Q - R_K, \quad (38)$$

$$B_D = (B - S') + R_K - D_2. \quad (39)$$

Значение прямой солнечной S и рассеянной D радиации за срок следует принять равным S_2 и D_2 соответственно.

В условиях нестабильной радиации перед вычислением значений Q и A_K необходимо оценить разности между значениями S'_1 , S'_R и S'_2 и поступить следующим образом:

а) если $|S'_R - S'_2|$ выше допуска, а $|S'_R - S'_1|$ в допуске, то необходимо вычислять:

$$Q = S'_1 + D_1, \quad (40)$$

$$A_K = R_K / (S'_1 + D_1), \quad (41)$$

в примечании записать эти формулы; принять $S = S_1$ и $D = D_1$.

б) если $|S'_R - S'_2|$ и $|S'_R - S'_1|$ выше допуска, то A_K не вычислять, а значение Q вычислить по формуле:

$$Q = S'_2 + D_2, \quad (42)$$

в примечании записать эту формулу; принять $S = S_2$ и $D = D_2$.

Перед вычислением значения B_D в условиях нестабильной радиации необходимо оценить разности между значениями S'_1 , S'_B , S'_R и S'_2 и вычислять значение B_D следующим образом:

а) если значения $|S'_B - S'_R|$ и $|S'_B - S'_1|$ в допуске, а значение $|S'_B - S'_2|$ выше допуска, то вычислять по формуле:

$$B_D = (B - S') + R_K - D_1, \quad (43)$$

в примечании записать эту формулу.

б) значение B_D не вычислять в следующих случаях:

- 1) $|S'_B - S'_R|$ выше допуска,
- 2) $|S'_B - S'_1|$ и $|S'_B - S'_2|$ выше допуска,
- 3) $|S'_R - S'_1|$ и $|S'_R - S'_2|$ выше допуска.

Если срочное наблюдение выполнено при состоянии диска Солнца \odot^0 или П, одинаковом при выполнении всех серий измерений, то:

– значение суммарной радиации Q принять равным D_2 , т.е. $Q = D_2$,

– значение радиационного баланса B определить по формуле (31),

– значение R_K , B_K , B_D и альбедо A_K определить по формулам (30), (38), (39) и (37) соответственно.

Если срочное наблюдение выполнено в условиях меняющегося состояния диска Солнца и отмечено как \odot^0 и П, то:

1) в качестве значения Q взять то из значений D_1 и D_2 , которое получено в серии с таким же состоянием диска Солнца, как и в серии 3 при измерении R_K ,

2) значение B_D вычислять только в том случае, когда состояние диска Солнца было одинаковым в сериях 2, 3 и 4 или в сериях 1, 2 и 3, в первом случае значение B_D вычислять по D_2 , а во втором – по D_1 ,

3) значения остальных видов радиации определять по значениям Q и D , которые определены в первом пункте.

Если срочное наблюдение выполнено при меняющемся состоянии диска Солнца \odot и \odot^0 или \odot и П, то обработку выполнять для нестабильного состояния диска Солнца, принимая, что при \odot^0 и П значение прямой солнечной радиации равно нулю. В случае состояния диска Солнца \odot , \odot^0 и П в течение одного срочного наблюдения результаты измерения бракуются.

Значение радиационного баланса по результатам срочного наблюдения, выполненного в ночной срок, вычислять по формуле (32).

Если измерения с балансомером не проведены из-за осадков, то в дневной срок принять $B = B_K = Q - R_K$ и $B_D = 0$, а в ночной срок принять $B_D = 0$.

Значение альbedo не вычислять, если значение суммарной радиации ниже $0,10 \text{ кВт/м}^2$.

10. Заполнение бланка книжки КМ-12 при выполнении срочных наблюдений

Для записи результатов актинометрических наблюдений используется книжка КМ-12. На рис. 7 представлена форма бланка книжки, для удобства при пояснении порядка внесения записей пронумерованы все ячейки бланка. Информацию, полученную во время выполнения срочного наблюдения, записывают в ячейки следующим образом.

В ячейки 1–4 записывают дату наблюдения, облачность, цвет неба и состояние подстилающей поверхности соответственно, в ячейку 5 – температуру поверхности почвы (снега), в ячейку 6 – температуру воздуха, в ячейку 14 – место нуля актинометра и температуру гальванометра. Значения места нуля балансомера и пиранометра записывают в ячейки 15 и 16 соответственно.

В ячейках 17 и 18 указывают время начала (первого из отсчётов D_1) и окончания (последнего из отсчётов D_2) срочного наблюдения с точностью до одной минуты по среднесолнечному времени.

Примечание : Так как во время практики наблюдения проводятся по летнему времени, то начало ($T_{\text{нач}}=$) и окончание ($T_{\text{кон}}=$) наблюдения по летнему времени указывается на полях в верхней части бланка. Также указывается поправка к декретному времени ($\Delta t_{\text{д}}=$).

В ячейках 19, 25, 31, и 34 указывают состояние диска Солнца при выполнении измерений в сериях 1–4 соответственно.

В ячейки 43–45 записывают значения трёх отсчётов N'_{D1} по затенённому пиранометру, а в ячейки 91 и 92 – двух отсчётов N'_{S1} по актинометру при выполнении измерений в серии 1.

По результатам измерений в серии 2 записывают три отсчёта V' по актинометру в ячейки 40–42, три отсчёта N'_B в ячейки 49–51 и два отсчёта N'_{SB} по актинометру в ячейки 97 и 98.

По результатам измерений в серии 3 записывают три отсчёта N'_R в ячейки 55–57 и два отсчёта N'_{SR} в ячейки 103 и 104.

По результатам измерений в серии 4 записывают три отсчёта N'_{D2} в ячейки 58–60 и два отсчёта N'_{S2} в ячейки 106 и 107.

В ячейке 8 указывают парциальное давление водяного пара (влажность воздуха) по результатам метеорологических наблюдений, выполненных в ближайший срок.

В ячейке 143 указываются атмосферные явления в срок наблюдения.

При обработке срочного актинометрического наблюдения в ячейки 61, 67, 73 и 76 записывают средние значения \bar{N}_{D1} , \bar{N}_B , \bar{N}_R и \bar{N}_{D2} из каждой тройки отсчётов N'_{D1} , N'_B , N'_R и N'_{D2} соответственно. В ячейки 62, 68, 74 и 77 – шкаловые поправки гальванометров, в ячейки 63, 69, 75 и 78 – значения места нуля, взятое с обратным знаком. В ячейки 79, 84, 89 и 90 указывают исправленные значения N_{D1} , N_R , N_B и N_{D2} . В ячейке 85 указывают среднее значение скорости ветра из указанных в ячейках 40–42.

В ячейки 93, 99, 105 и 108 указывают шкаловые поправки гальванометра, подключённого к актинометру. Значение места нуля актинометра достаточно указать один раз, например под ячейкой 108.

В ячейки 109, 115, 121 и 124 записывают средние исправленные отсчёты N_S по результатам измерений в сериях 1–4 соответственно.

В ячейке 10 указывают среднее солнечное время τ_m как среднее из указанных в начале и конце наблюдений. В ячейке 11 указывается склонение Солнца на день наблюдений. В ячейке 12 заносится рассчитанная высота Солнца для середины срочного наблюдения, в градусах, в ячейке 13 указывается $\sin h$.

Результаты обработки записывают следующим образом. В ячейке 86 указывают поправочный множитель на скорость ветра и вычисляют приведённый к штиллю отсчёт по балансомеру $N_{Ш}$, который записывают в ячейку 87.

Если учёт температурной зависимости актинометра с гальванометром производится путём использования переводного множителя, приведённого к температуре T_z , то в ячейку 110 записывают значение a_m (достаточно указать его один раз). Если же используют температурную поправку ΔN_m , то её значение указывают в

ячейках 110, 116, 122 и 125, а в ячейках 111, 117, 123 и 126 – исправленные с учётом ΔN_m значения отсчётов по актинометру.

Значения рассеянной радиации D_1 и D_2 и отражённой радиации R_k записывают в ячейки 127, 136, и 133 соответственно, а значение радиационного баланса без прямой солнечной радиации ($B-S'$) – в ячейку 128. В ячейки 129 и 134 записывают значения прямой солнечной радиации S по результатам измерений в сериях 2 и 3 соответственно. В ячейки 130 и 135 – значения прямой солнечной радиации на горизонтальной поверхности S' , в ячейке 131 – значение радиационного баланса B , в ячейку 137 – значение суммарной радиации Q , в ячейку 138 – значение альbedo, в ячейку 132 – значение баланса длинноволновой радиации B_d .

При прямом измерении радиационного баланса B , ячейки 22, 37–39, 46–48, 64–66 и 80–83 заполняются так же, как и при измерении $B-S'$.

В ячейке 144 указываются причину отклонения от стандартного способа обработки результатов.

При проведении срочных наблюдений совмещённых с текущим контролем рабочих пиранометра и балансомера в дополнении к измерениям проводимым при \odot^3 проводятся измерения радиационного баланса и суммарной радиации по незатенённым балансомеру и пиранометру. В ячейках 22 и 28 указывается состояние диска Солнца при выполнении соответствующих измерений.

По результатам измерений радиационного баланса по незатенённому балансомеру записывают три отсчёта V' по анемометру в ячейки 37–39, три отсчёта N'_{Bo} в ячейки 46–48 и два отсчёта N'_{SB0} по актинометру в ячейки 94 и 95.

В ячейки 52–54 записывают значения трёх отсчётов N'_{Q0} по незатенённому пиранометру, а в ячейки 100 и 101 – двух отсчётов N'_{SQ0} по актинометру при выполнении измерений в этой серии.

Обработка этих измерений производится так же как и стандартных с записью промежуточных результатов в аналогичные ячейки.

В ячейке 139 записывается значение радиационного баланса B_0 по измерениям с незатенённым балансомером, а в ячейке 140 – значение S'_0 для этой серии. В ячейке 141 указывается суммарная радиация Q_0 по измерениям с незатенённым пиранометром, а в ячейке 142 – значение S'_0 для этой серии.

Примечание: При практических измерениях в ячейках 20, 29, 32 и 35 указываются номера клемм гальванометра, которые использовались для подключения тиранометра в соответствующих сериях измерений, в ячейки 23 и 26 номера клемм, к которым подключается балансомер. В ячейках 24 и 27 указывается полярность подключения балансомера. Номера клемм гальванометра, которые использовались для подключения актинометра, указываются под заголовком восьмого столбца.

Число			1	Температура поверхности почвы	Температура воздуха	Время, склонение, высота Солнца				
Облачность			2	5	6	τ_m	10	h_0	12	
Цвет неба и видимость			3	Влажность воздуха	8	7	τ_0	11	$\sin h_0$	13
				8			9	10		
Состояние деятельной поверхности			4	Место нуля приборов						
				Актинометра			Балансомера		Альбедометра	
Время	Над. разницы клеммы	Состояние диска Солнца	Альбедометр и балансомер		N_{cp} ΔN N_0	$N_{исп}$ U_{cp} Φ_U $N_{из}$	Актинометр		Радиация в кал/(см ² ·мин)	
			Скорость ветра	Отчёт гальванометра			Отчёт гальванометра ΔN N_0	$N_{исп}$	$кВт/м^2$	
17	D ₁	19	X	43	61	79	91	109	D ₁	127
		20		44	62		92	110		
		21		45	63		93	111		
	B	22	37	46	64	80	94	112		
		23	38	47	65	81	95	113		
		24	39	48	66	82	96	114		
						83				
	B - S'	25	40	49	67	84	97	115	B - S'	128
		26	41	50	68	85	98	116	S	129
		27	42	51	69	86	99	117	S'	130
						87			B	131
	Q	28	X	52	70	88	100	118	B _д	132
		29		53	71		101	119		
		30		54	72		103	120		
	R _к	31	X	55	73	89	103	121	R _к	133
		32		56	74		104	122	S	134
		33		57	75		105	123	S'	135
	D ₂	34	X	58	76	90	106	124	D ₂	136
		35		59	77		107	125	Q	137
18		36		60	78		108	126	A _к	138
										139
										140
										141
										142
Атмосферные явления				143						
Примечания				144						

Подпись наблюдателя

Проверил

Рис. 7. Форма бланка книжки КМ-12 для записи результатов наблюдений и обработки (нумерация ячеек введена для объяснения порядка заполнения)

11. Контроль результатов актинометрических наблюдений

Значения прямой солнечной радиации S должны быть не более указанных в таблице. Наибольшее её значение наблюдается при безоблачном небе.

h°	7	10	15	20	25	30	40	50	60	75	90
S_{max} кВт/м ²	0,86	0,95	1,03	1,08	1,13	1,15	1,19	1,22	1,23	1,24	1,25

Значение рассеянной радиации D зависит от облачности, прозрачности атмосферы, высоты Солнца, альbedo подстилающей поверхности. Значения рассеянной радиации при состоянии диска Солнца ☉² и общей облачности не более 2 баллов должны быть не менее указанных в таблице.

h°	7	15	20	более 45
D_{min} кВт/м ²	0,04	0,05	0,06	0,07

Рост значений рассеянной радиации наблюдается при увеличении облачности верхнего и среднего яруса для больших высот Солнца при увеличении замутненности атмосферы и при возрастании альbedo деятельной поверхности. Наибольшие значения D бывают при просвечивающих облаках форм As, Ac, Sc, но, как правило, не превышают 0,8 кВт/м².

Значение суммарной радиации Q должно быть не более 1,5 кВт/м². Суммарная радиация определяется высотой Солнца, количеством облачности, прозрачностью атмосферы. Наибольшей величины суммарная радиация достигает при больших высотах Солнца, состоянии диска ☉² и значительной облачности кучевых форм.

Значения отражённой радиации R_k не должны превышать значения суммарной радиации Q . Однако при низком Солнце и подстилающей поверхности, покрытой снегом, льдом, мокрой или обледеневшей травой, могут наблюдаться значения R_k превосходящие Q , из-за угловых погрешностей пиранометра. В этих случаях значения альbedo A_k не вычисляются. Значения A_k в утреннее и вечернее время бывают выше, чем в середине дня. Альbedo зависит от

состояния поверхности и в одни сроки одной и той же поверхности мало меняется. С увеличением влажности альбеда уменьшается.

Значение радиационного баланса B должно быть меньше Q и в отдельных случаях может достигать значений $0,84-0,91$ кВт/м², а радиационного баланса без прямой солнечной радиации $B-S'$ (с учётом знака) – меньше значения D . При состоянии диска Солнца ☉² и небольшой облачности значения $B-S'$ должны быть отрицательными, а при значительной облачности положительными. Если наблюдается обратная зависимость и при этом в ночные сроки при безоблачном небе значения радиационного баланса положительны, то это указывает на то, что балансмер подключён к гальванометру с обратной полярностью. Радиационный баланс B обычно переходит через ноль спустя час после восхода солнца и за 1 ч 10 мин до захода Солнца, при высоте Солнца $h=10\div 15^\circ$. В месяцы с устойчивым снежным покровом радиационный баланс переходит через ноль спустя 1,5 ч после восхода и за 1,5 ч до захода Солнца, если он не отрицателен во все сроки. Величина B находится в обратной зависимости от альбеда подстилающей поверхности. Наибольшее абсолютное значение $B-S'$ должно быть при большой высоте Солнца.

Значения баланса длинноволновой радиации B_d должны быть отрицательными, за исключением случаев сильной инверсии в ночное время. При увеличении температуры почвы она возрастает по абсолютной величине.

12. Расчёт характеристик прозрачности атмосферы

Для определения характеристик прозрачности атмосферы используют результаты измерений прямой солнечной радиации S при состоянии диска Солнца ☉² и высоте Солнца не менее $6,8^\circ$.

В процессе обработки актинометрической информации коэффициент прозрачности атмосферы P_2 для относительной атмосферной оптической массы $m = 2$, т. е. при высоте Солнца $h = 30^\circ$, рассчитывают по формуле

$$P_2 = \left(\frac{S \rho}{1,367} \right)^{\frac{\sin h + 0,205}{1,41}}, \quad (44)$$

где S – измеренное значение прямой солнечной радиации, кВт/м²,
 ρ – поправочный множитель для приведения S к среднему расстоянию между Землёй и Солнцем. Характеристики прозрачности вычисляются по значению прямой солнечной радиации S , измеренной в первой серии наблюдений (табл. 6).

Таблица 6

Поправочные множители ρ для приведения прямой солнечной радиации к среднему расстоянию между Землёй и Солнцем

Месяц	Число					
	1	5	10	15	20	25
Январь	0,967	0,967	0,967	0,968	0,968	0,969
Февраль	0,971	0,972	0,974	0,976	0,967	0,980
Март	0,982	0,984	0,987	0,990	0,999	0,995
Апрель	0,999	1,001	1,004	1,007	1,009	1,012
Май	1,015	1,017	1,020	1,022	1,024	1,026
Июнь	1,028	1,029	1,031	1,032	1,032	1,032
Июль	1,033	1,034	1,034	1,033	1,032	1,031
Август	1,030	1,029	1,027	1,026	1,024	1,022
Сентябрь	1,018	1,016	1,013	1,011	1,008	1,006
Октябрь	1,002	1,000	0,997	0,994	0,991	0,989
Ноябрь	0,985	0,983	0,981	0,978	0,976	0,974
Декабрь	0,972	0,971	0,970	0,969	0,968	0,967

Если прямая солнечная радиация измерена при атмосферном давлении b ниже 950 гПа, то значение P_2 , рассчитанное по формуле (44), приводят к нормальному атмосферному давлению $b = 1000$ гПа по формуле

$$P_{2M} = P_2^{\frac{1000}{b}}, \quad (45)$$

где P_{2M} – коэффициент прозрачности для атмосферной оптической массы 2, приведённый к нормальному давлению.

Фактор мутности T_2 рассчитывается по формуле

$$T_2 = \frac{\lg P_2}{\lg P_i}, \quad (46)$$

где P_2 – интегральный коэффициент прозрачности реальной атмосферной оптической массы 2, P_i – коэффициент прозрачности идеальной атмосферы ($P_i=0,905$).

13. Текущий контроль состояния рабочих пиранометра и балансомера с гальванометром

Выполнение текущего контроля пиранометра и балансомера должно проводиться при ☉² и облачности не более 5 баллов по методике, изложенной ранее, с той разницей, что после первой серии измерений с затенённым пиранометром должна быть проведена серия с незатенённым балансомером, а после серии с затенённым балансомером – серия с незатенённым пиранометром. Порядок следования серий и отсчётов в сериях при выполнении текущего контроля представлен в таблице, в которой N'_{Bo} – отсчёт по незатенённому балансомеру, N'_{Qo} – отсчёт по незатенённому пиранометру, N'_{SBo} , N'_{SQo} – отсчёты по актинометру.

Номер серии	Порядок отсчётов
1	$N'_{D1}, N'_{S1}, N'_{D1}, N'_{S1}, N'_{D1}$
2	$V', N'_{Bo}, N'_{SBo}, V', N'_{Bo}, N'_{SBo}, V', N'_{Bo}$
3	$V', N'_B, N'_{SB}, V', N'_B, N'_{SB}, V', N'_B$
4	$N'_{Qo}, N'_{SQo}, N'_{Qo}, N'_{SQo}, N'_{Qo}$
5	$N'_R, N'_{SR}, N'_R, N'_{SR}, N'_R$
6	$N'_{D2}, N'_{S2}, N'_{D2}, N'_{S2}, N'_{D2}$

Для серий 1, 3, 5 и 6 из числа указанных в таблице выполняется обработка по обычной методике.

По результатам измерений, выполненных в серии 2 с незатенённым балансомером, определить значение радиационного баланса B_o по формуле (32), учитывая при этом шкаловую поправку ΔN_B и место нуля n_b . Определить значение прямой солнечной радиации S_{Bo} по формуле (33), а также значение прямой солнечной радиации на горизонтальной поверхности S'_{Bo} по формуле (34)

По результатам измерений, выполненных в серии 4 с незатенённым пиранометром определить значение суммарной радиации Q_o по формуле, аналогичной формуле (28), а также значения прямой солнечной радиации S_{Qo} и S'_{Qo} .

Вычислить величину S'_{BB} по формуле:

$$S'_{BB} = B_0 - (B - S'), \quad (47)$$

где B_0 и $(B - S')$ – значения радиационного баланса и баланса без прямой радиации, определённые в сериях 2 и 3 в кВт/м² и величину S'_{DQ_0} по формуле:

$$S'_{DQ_0} = Q_0 - 0,5(D_1 + D_2), \quad (48)$$

где Q_0 , D_1 и D_2 – значения суммарной и рассеянной радиации, определённые по результатам измерений в сериях 4, 1 и 6 соответственно, кВт/м².

Вычислить с учётом знаков величину ΔB по формуле:

$$\Delta B = S'_{BB} - S'_{B_0}, \quad (49)$$

и величину ΔQ по формуле:

$$\Delta Q = S'_{DQ} - S'_{Q_0}. \quad (50)$$

Если при текущем контроле балансомера значение $\frac{\Delta B}{S'_{B_0}} \times 100\%$ по абсолютной величине превышает 20%, то необходимо выполнить тщательный внешний осмотр балансомера, гальванометра, соединительных проводов, клемм, переключателей и затеняющего экрана. Если значение ΔB подтверждает превышение допуска не менее чем 3 раза подряд и имеют при этом один и тот же знак, то необходимо при первой возможности выполнить контроль переводного множителя рабочего балансомера с гальванометром.

Если по результатам текущего контроля пиранометра получено значение $\frac{\Delta Q}{S'_{Q_0}} \times 100\%$, превышающее по величине 10%, то следует поступать аналогично тому, как это указано для балансомера.

Литература

1. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 5. Ч. 1. Л.: Гидрометеиздат, 1997. – 222 с.
2. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3. Ч. 1. Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 307 с.
3. Руководство по поверки метеорологических приборов. Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 420 с.
4. *Стеризат М.С.* Метеорологические приборы и измерения. Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 392 с.
5. *Бройдо А.Г.* Руководство к учебной практике по метеорологии. Л.: изд. ЛГМИ, 1971. – 154 с.
6. *Головина Е.Г., Петрушенко В.Д., Попов А.Г., Ушакова Т.В.* Руководство к учебной практике по метеорологии (для иностранных студентов). Л.: изд. ЛГМИ, 1988. – 94 с.
7. Руководство гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям. Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 224 с.
8. *Матвеев Л.Т.* Физика атмосферы. С-Пб.: Гидрометеиздат, 2000. – 780 с.

Содержание

Предисловие	3
1. Актинометрические величины и их единицы	5
2. Актинометрические приборы	12
3. Расчёт высоты солнца	22
4. Общие указания по проведению срочных актинометрических наблюдений	29
5. Метеорологические параметры и оптические характеристики атмосферы, определяемые при выполнении актинометрических наблюдений ..	29
6. Условия проведения срочных наблюдений	33
7. Подготовка к выполнению срочного наблюдения	33
8. Проведение измерений при выполнении срочных наблюдений	34
8.1. Выполнение срочного наблюдения при состоянии Солнечного диска \odot^2 и \odot	35
8.2. Выполнение срочного наблюдения при состоянии Солнечного диска \odot^0 и П	36
8.3. Выполнение срочного наблюдения в ночной срок	37
9. Обработка результатов срочных наблюдений	38
10. Заполнение бланка книжки КМ-12 при выполнении срочных наблюдений	43
11. Контроль результатов актинометрических наблюдений	47
12. Расчёт характеристик прозрачности атмосферы	48
13. Текущий контроль состояния рабочих пиранометра и балансомера с гальванометром	50
Литература	52

Учебное издание

К.Л. Восканян, А.Г. Саенко

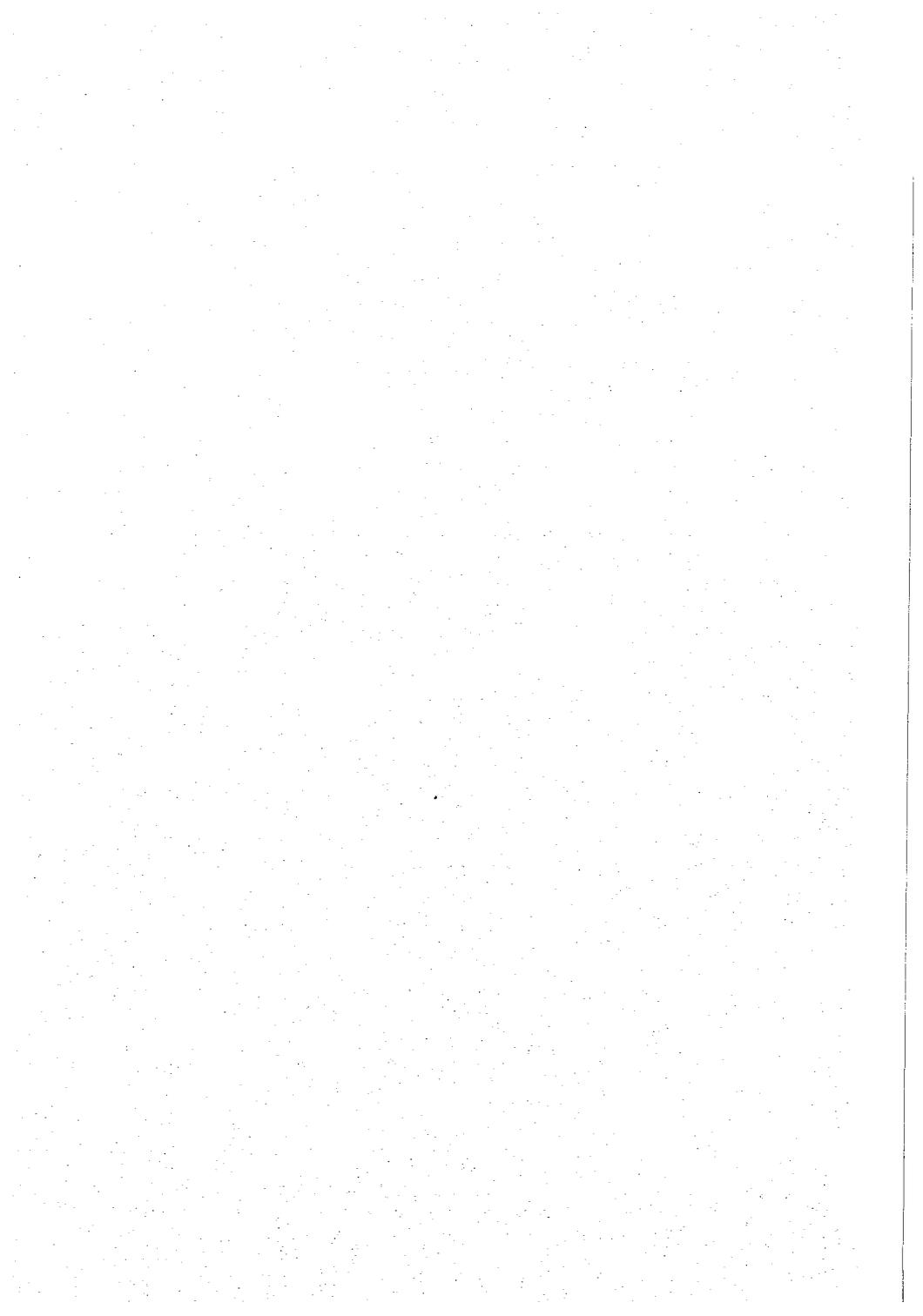
АКТИНОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Пособие для учебной практики

Редактор О.С. Крайнова
Компьютерная верстка Н.И. Афанасьевой

ЛР № 020309 от 30.12.96

Подписано в печать 13.10.10. Формат 60×90 1/16. Гарнитура Times New Roman.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 3,5. Тираж 300 экз. Заказ № 51/10
РГГМУ, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.
ЗАО «НПП «Система», 197045, Санкт-Петербург, Ушаковская наб., 17/1.



$$48 = 40$$