

### Тема 3. Прилади для актинометричних спостережень

*Мета роботи: ознайомитися з будовою та принципом дії приладів для актинометричних спостережень, навчитися визначати (вимірювати) потоки сонячної радіації та виконати завдання.*

#### 3.1. Теоретичні відомості.

Вимірювання прямої, розсіяної та сумарної сонячної радіації. Частина променистої енергії Сонця, яка приходить до земної поверхні від видимого диска Сонця у вигляді паралельних променів, називається прямою сонячною радіацією.

Пряма сонячна радіація характеризується: інтенсивністю ( $S$ ) – це радіація, яка надходить на перпендикулярну абсолютно чорну поверхню і вимірюється актинометром; інсоляцією ( $S'$ ) – величина приходу прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню:

$$S' = S \times \sin(h_0) \quad 3.1$$

де:  $h_0$  – висота Сонця над горизонтом, град (додаток 3).

Частина сонячної радіації, що після розсіювання в атмосфері надходить на горизонтальну поверхню, називається розсіяною радіацією ( $D$ ).

Сумарна радіація ( $Q$ ) – сума прямої ( $S'$ ) і розсіяної ( $D$ ) радіації, тобто:

$$Q = S' + D \quad 3.2$$

$$Q = S \times \sin(h_0) + D \quad 3.3$$

Потужність потоку сонячної радіації в Міжнародній системі одиниць (СІ) виражається у ватах на  $1 \text{ м}^2$  ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ). У метеорології потужність потоку сонячної радіації звичайно виражали в калоріях на площу в  $1 \text{ см}^2$  за 1 хв. [ $\text{кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{хв.})$ ]. Прихід радіації, що складає  $1 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{хв.})$ , дорівнює  $698 \text{ Вт}/\text{м}^2$ .

Співвідношення:

$$1 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{хв.}) = 698 \text{ Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}) = 698 \text{ Вт}/\text{м}^2.$$

$$1 \text{ кал}/\text{см}^2 = 4,19 \cdot 10^4 \text{ Дж}/\text{м}^2; 1 \text{ ккал}/\text{см}^2 = 4,19 \cdot 10^4 \text{ кДж}/\text{м}^2.$$

Відбита радіація ( $R_k$ ) – частина сонячного випромінювання, яке відбивається земною поверхнею. Відбиту радіацію ( $R_k$ ) найчастіше характеризують безрозмірною величиною – відбивальною здатністю (або альбедо) тієї чи іншої поверхні, на яку падає сонячна радіація.

Альбедо ( $A_k$ ) – відношення відбитої радіації до сумарної, виражається в частинах одиниці (з точністю до сотих) або у відсотках. Альбедо розраховується за формулою:

$$A_k = R_k \times 100/Q \quad 3.4$$

Таблиця 3.1.

Альбедо різних природних поверхонь, %  
(за М.І. Будико і В.Л. Гаєвським)

Поверхня	Альбедо	Поверхня	Альбедо
Свіжий сухий сніг	80–95	Посіви жита і пшениці	10–25
Сніг забруднений	40–50	Посіви картоплі	15–25
Лід морський	30–40	Луки	15–25

Ґрунти темні	5–15	Степ сухий	20–30
Ґрунти сухі глинисті	20–35	Ліси хвойні	10–15
Ґрунти сухі піщані	25–45	Ліси листяні	15–20

Частина сумарної радіації, яка поглинається земною поверхнею, називається поглинутою радіацією ( $R_n$ ):

$$R_n = Q - R_k \quad 3.5$$

$$R_n = Q (1 - A_k / 100) \quad 3.6$$

Різницю між надходженням і витратами радіації називають радіаційним балансом, або залишковою радіацією.

Рівняння радіаційного балансу має такий вигляд:

$$B = S' + D - R_k - E_{ef} \quad 3.7$$

або

$$B = Q(1 - A_k) - E_{ef} \quad 3.8$$

Після відбиття частина сонячної радіації поглинається земною поверхнею – це поглинута радіація ( $C_k$ ):

$$C_k = Q - R_k \quad 3.9$$

або

$$C_k = Q(1 - A_k) \quad 3.10$$

Різниця між кількістю тепла, випромінюваного земною поверхнею, і теплом, яке вона дістає від зустрічного випромінювання атмосфери називають ефективним випромінюванням Землі ( $E_{ef}$ ).  $E_{ef}$  завжди спрямоване від земної поверхні (має знак “–”):

$$E_{ef} = E_z - E_a \quad 3.11$$

де:  $E_z$  – випромінювання Землі;  $E_a$  – випромінювання атмосфери.

Фотосинтетично активна радіація ФАР – частина променистої енергії Сонця, що рослини засвоюють у процесі фотосинтезу.

Для розрахунку ФАР використовують таке рівняння:

$$\sum Q_{\text{ФАР}} = 0,43 \sum S' + 0,57 \sum D \quad 3.12$$

де:  $\sum Q_{\text{ФАР}}$  – сумарна фотосинтетична активна радіація (Дж/м<sup>2</sup>);  $\sum S'$  – сума прямої радіації на горизонтальну поверхню (Дж/м<sup>2</sup>);  $\sum D$  – сума розсіяної радіації (Дж/м<sup>2</sup>).

### 3.2. Актинометричні спостереження.

Актинометричні спостереження – це спостереження за інтенсивністю потоків променистої енергії, які надходять до підстильної поверхні від Сонця та атмосфери, а також тих, що відбиваються від підстильної поверхні та випромінюються в атмосферу. Актинометричні спостереження проводяться за допомогою актинометричних приладів на метеорологічних станціях.

Для вимірювання потоків сонячної радіації використовують актинометричні прилади як абсолютні, так і відносні.

Абсолютні прилади (піргеліометр, геліограф) вимірюють пряму сонячну радіацію в теплових одиницях (калоріях) і тривалість сонячного сяйва в годинах. Ці прилади є досить складними як з точки зору їх будови, так і використання. Їх застосовують переважно для перевірки відносних приладів. Всі інші прилади відносні, тобто дають лише відносні значення сонячної радіації, які потім необхідно переводити в абсолютні величини.

Серед відносних приладів найбільш поширеними є термоелектричні прилади, в конструкції яких використовується термоелектричний принцип, заснований на залежності сили термічного струму від різниці температури спаїв термоелементів. За їх допомогою енергія випромінювання перетворюється в енергію електричного струму – термострум. Явище термоструму полягає в тому, що в замкненому ланцюзі, утвореному із двох різнорідних провідників, може виникнути електричний струм. Струм виникатиме тоді, коли температура місць з'єднань (спаїв) буде різною. Якщо ж, температури спаїв однакові, то електричний струм у ланцюзі буде відсутній. Величина електрорушійної сили термоструму пропорційна різниці температур спаїв.

З'єднані послідовно термоелементи утворюють термобатарею, у якій усі непарні спаї розташовують так, щоб вони мали однакову температуру, яка відрізняється від температури парних спаїв, розміщених у досліджуваному середовищі. Оскільки різниця температур спаїв обумовлена радіацією, що надходить, енергетична освітленість буде пропорційна силі термоелектричного струму.

В термоелементах використовують манганін (сплав міді, марганцю і нікелю), та константан (сплав міді і нікелю). У якості приймача випромінювання найчастіше використовують затемнені пластинки, що поглинають 94–97 % сонячної радіації, що надходить на їхню поверхню. Для вимірювання сили термоструму застосовують гальванометр ГСА–1 із стрілкою. Він дозволяє вимірювати слабкий струм, що виникає в термобатареях актинометричних приладів.

Для проведення актинометричних спостережень використовують такі основні прилади: актинометр, універсальний піранометр (похідний альбедометр) і балансомір.

### 3.3. Актинометричні прилади.

Піранометр М-80М. Піранометр призначений для вимірювання сумарної, розсіяної та відбитої радіації (рис. 3.1). Приймачем радіації даного приладу є термоелектрична батарея, у якій поєднані манганінові та константанові термоелементи, сполучені послідовно, які утворюють термопари, число яких залежить від чутливості гальванометра (28; 87 або 112). Парні спаї термобатареї покриваються сажею, а непарні – білою магnezією. Чорні (сажа) і білі (магnezія) поля чергуються, а межа фарбування проходить посередині між спаями. Сонячна радіація поглинається сажею інтенсивніше, ніж магnezією, тому між спаями виникає різниця температур і збуджується термоелектричний струм, який пропорційний кількості радіації, що вимірюється гальванометром.

Для вимірювання сумарної радіації піранометр встановлюють горизонтально на висоті 1,5 м від земної поверхні та спрямовують в бік Сонця тією стороною, до якої прикріплено горизонтальний стержень, до якого, у свою чергу прикріплюється труба з тінювим кільцем. Гальванометр встановлюють з північної сторони від піранометра. Під час затемнення щитком отримують розсіяну радіацію, а без затемнення – сумарну радіацію Сонця та неба.

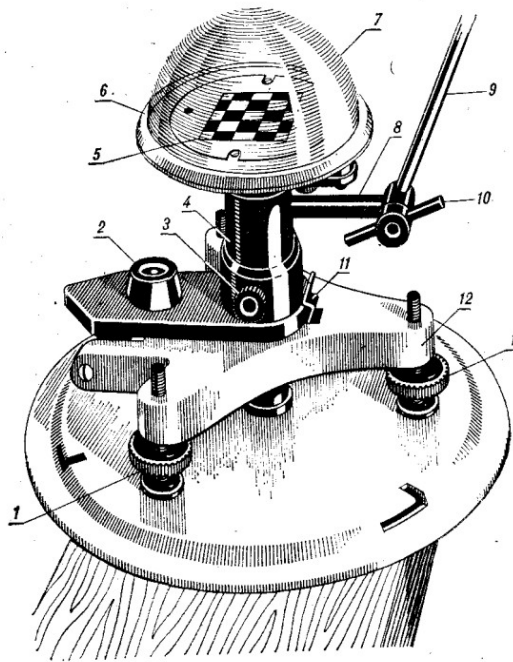


Рис. 3.1. Піранометр М-80М

1 - встановлювальні гвинти; 2 - рів'єра; 3, 10 - гвинти; 4 - стояк; 5 - термобатарея; 6 - корпус; 7 - скляний ковпак; 8 - стрижень; 9 - трубка; 11 - пружина; 12 - тринога

Порядок проведення вимірювання.

1. Перевірити установку приладу за рівнем і відносно Сонця.
2. Закріпити тінювий щиток.
3. Закрити кришкою термобатарею і при замкнутому ланцюгу піранометра і гальванометра визначити місце нуля гальванометра.
4. Зняти кришку піранометра з термобатареї при тіньовому щитку і визначити відлік гальванометра (розсіяна радіація) через 25–30 с.
5. Відвести тінювий щиток і зняти відлік гальванометра (сумарна радіація) через 25–30 с.
6. При тіньовому щитку беруть відлік гальванометра щодо розсіяної радіації через 25–30 с.
7. Провести 4 вимірювання розсіяної та сумарної радіації і визначити середнє значення.

Альбедометр термоелектричний АП-3х3. Термоелектричний альбедометр – універсальний прилад, призначений для вимірювання сумарної, розсіяної й відбитої радіації (рис 3.2). Основою альбедометра є піранометр, який змонтований на трубковій карданній підвісці. Приймальною частиною альбедометра є головка піранометра (термоелектрична батарея) встановлена на самозрівноважуваний карданний підвіс. Така конструкція дозволяє встановлювати прилад у двох положеннях – приймачем вгору і вниз. Горизонтальність приймача відносно земної поверхні забезпечується автоматично.

Термоелектричний балансомір М-10М. Даний прилад використовується для вимірювання різниці приходу й витрати променистої енергії (радіаційного балансу), (рис. 3.3). Дія приладу ґрунтується на принципі поглинання різних потоків сонячної радіації затемненими пластинами (верхньої та нижньої) приймальних частин та перетворенням їх в електричну енергію.

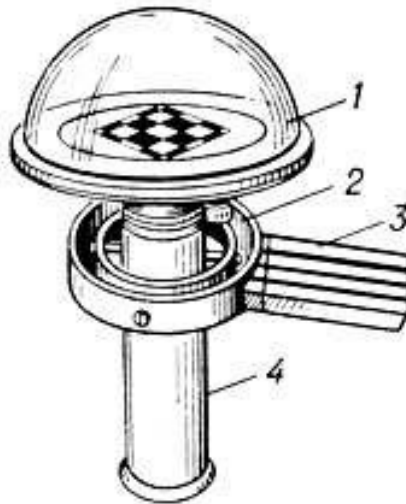


Рис. 3.2. Альбедометр термоелектричний АП-3х3:  
 1 – приймальна частина; 2 – самозрівноважуваний карданний підвіс;  
 3 – ручка (держак); 4 - трубка

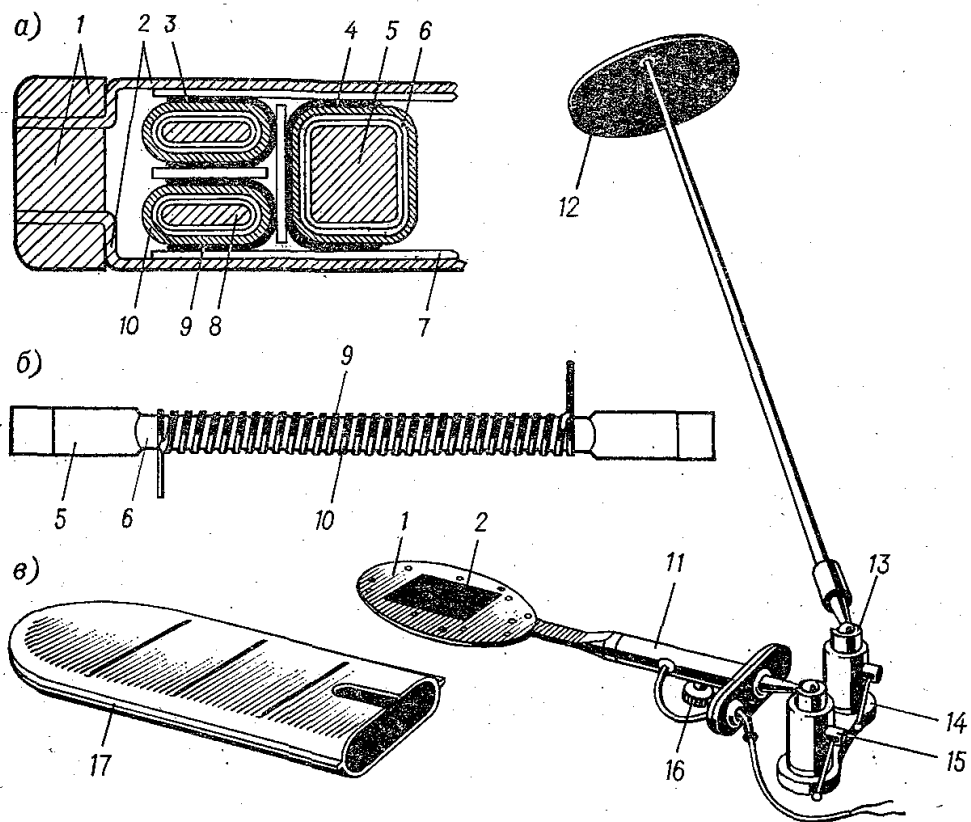


Рис. 3.3. Термоелектричний балансомір М-10М  
 а) схематичний поперечний переріз, б) окрема термобатарея, в) зовнішній вигляд; 1, 2 – корпус з приймачем; 3, 4 – спаї; 5 – мідний брусок; 6, 7 – ізоляція; 8 – термобатарея; 9 – шар срібла; 10 – константанова стрічка; 11 – ручка; 12 – тінювий екран;  
 13, 15 – кулькові шарніри; 14 – планка; 16 – кульковий гвинт;  
 17 – чохол

Балансомір встановлюють горизонтально і також підключають до гальванометра. Визначають баланс без прямої радіації ( $B - S'$ ), для цього його приймальну частину загіняють екраном. Оскільки приймальна частина приладу не захищена від вітру, а вітер впливає на температуру обох поверхонь, паралельно з відліком гальванометра за балансоміром вимірюють швидкість вітру на висоті 2 м. При обробці спостережень до результатів вимірювань за балансоміром вводять поправку на вітер.

**Актинометр.** Актинометр – це прилад для вимірювання прямої сонячної радіації, що надходить на поверхню Землі. Значення останньої отримуються шляхом проведення розрахунків за величиною електричного струму, що вимірюється гальванометром.

Частина актинометра, що поглинає сонячні промені, складається з тонкого срібного затемненого зі сторони Сонця диска (рис. 3.4).

З іншого боку диска через паперову ізоляційну прокладку приклеєні центральні (активні) спаї термоелементів з манганіну та константу. Периферійні (пасивні) спаї приклеєні до мідного кільця також через паперову ізоляційну прокладку. Під час вимірювань срібний диск поглинає сонячну радіацію. Внаслідок цього температура диска та центральних спаїв термобатареї зростає. Периферійні спаї мають температуру корпуса, яка близька до температури навколишнього повітря. При різниці температур спаїв в термобатареї виникає струм, який вимірюється гальванометром.

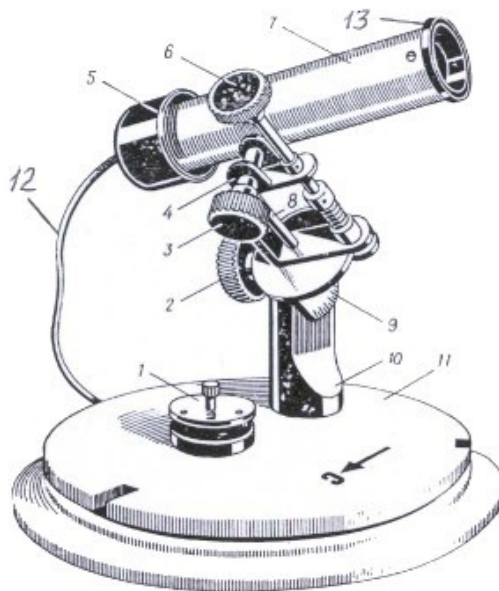


Рис. 3.4. Актинометр термоелектричний Савінова – Янишевського: 1 - кришка; 2, 3 - гвинти; 4 - вісь нахилу; 5 - екран; 6 – ручка (держак); 7 - трубка; 8 - вісь; 9 - сектор широт; 10 - стійка; 11 - підставка; 12 – електричні проводи; 13 - отвір

Спостереження проводять так:

1. Націлити прилад на Сонце при знятій кришці з труби актинометра.
2. Вдягнути кришку на трубу і через 25–30 с виконати відлік нульового положення за гальванометром.
3. Зняти кришку з труби і перевірити точність націлювання на Сонце.
4. Знімають 3–5 показів гальванометра з інтервалом 25–30 с.



Рис. 3.5. Сучасний піргеліометр фірми Hukseflux

Піргеліометр. Піргеліометр — це прилад для вимірювання прямої сонячної радіації, що перпендикулярно падає на поверхню Землі (максимально можлива кількість енергії наявна біля поверхні Землі). Принцип дії приладу заснований на вимірюванні кількості тепла, що утворюється при поглинанні сонячного випромінювання. Піргеліометр в основному застосовується для перевірки відносних приладів — актинометрів (рис. 3.5).

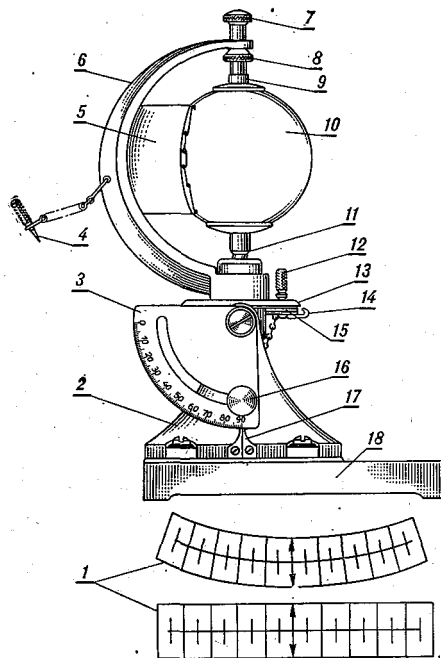
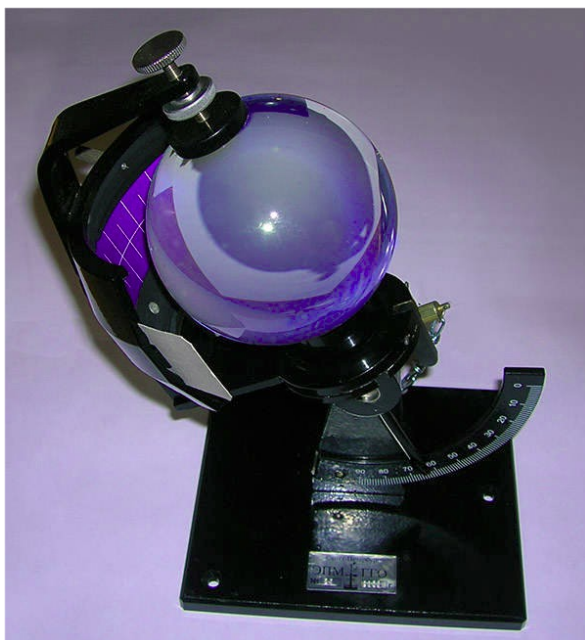


Рис. 3.6. Геліограф універсальний ГУ-1: зліва — зовнішній вигляд, справа — будова; 1 — стрічки; 2 — стояк; 3 — шкали широт; 4, 12 — стержень; 5 — чашка; 6 — дугоподібний тримач; 7, 16 — гвинти; 8 — контргайка; 9, 11 — шайби; 10 — скляний шар; 13 — диск; 14, 17 — покажчик; 15 — лімб; 6, 18 — чавунна основа

Геліограф. Геліограф призначений для автоматичної реєстрації тривалості сонячного сьйва в годинах упродовж дня, тобто коли Сонце не закрите хмарами (рис. 3.6).

Прилад — це куля з чистого скла (лінза) для збору сонячних променів, що закріплена на дугоподібній підставці. При проходженні крізь скло сонячні промені заломлюються, збираються у фокусі на спеціальній світлочутливій стрічці і пропалюють її, збираючись в одній точці — фокусі лінзи. В міру переміщення Сонця по небосхилу пересувається і сфокусований на стрічці пучок променів, випалюючи на стрічці з поділками 0,5 та 1 година смугу. Якщо ж небо закривають хмари, промені зникають, і випалена смужка переривається.

Такий запис проходження Сонця дозволяє визначити, скільки часу протягом цього дня була ясна погода, і скільки — хмарна. Для отримання точних результатів, геліограф спочатку орієнтують за сторонами світу, бічну панель виставляють по широті точки, в якій знаходиться майданчик для спостережень. Підставка для геліографа повинна бути виставлена точно по горизонталі, її поверхня не повинна мати нерівностей. Недоліком геліографа є те, що лінія пропалу на стрічці з'являється при інтенсивності радіації 150–250 Вт/м<sup>2</sup>. Лінія пропалу на стрічці починається дещо пізніше сходу Сонця, і закінчується раніше, коли Сонце ще над горизонтом. Тому виміряна тривалість сонячного саява може бути дещо менше фактичної.

### 3.4. Завдання.

Вимірювання сумарної, розсіяної та прямої радіації термоелектричним піранометром.

Прилади та обладнання:

- піранометр;
- гальванометр;
- настільна лампа потужністю не менше 200 Вт;
- транспортир.

Порядок виконання роботи.

Підготувати таблиці для запису результатів спостережень.

Встановити піранометр під лампою, підключити його до гальванометра (“+” та “П”). Якщо стрілка гальванометра не показує нуль, записати кількість поділок (після вимірювання їх потрібно відняти від показів гальванометра при вимірюванні). За допомогою транспортира визначити кут падіння променів на головку піранометра. Відкрити кришку головки піранометра та записати дані показів гальванометра до таблиці. Виконати три вимірювання.

Для вимірювання розсіяної радіації зробити 3–4 відліки за гальванометром при затіненій головці піранометра. Результати також записати у таблицю та провести розрахунки.

Таблиця 3.2.

Результати спостережень за сумарною радіацією, Вт/м<sup>2</sup>  
Дата, час та місце спостереження.....

№ піранометра	№ гальванометра	Відлік гальванометром	за	Шкалова поправка	Q, Вт/м <sup>2</sup>

Таблиця 3.3.

Результати спостережень за розсіяною радіацією, Вт/м<sup>2</sup>  
Дата, час та місце спостереження.....

№ піранометра	№ гальванометра	Відлік гальванометром	за	Шкалова поправка	D, Вт/м <sup>2</sup>



Таблиця 3.4.

Результати спостережень за прямою радіацією, Вт/м<sup>2</sup>  
Дата, час та місце спостереження.....

№ піранометра	№ гальванометра	Відлік гальванометром	за	Шкалова поправка	S', Вт/м <sup>2</sup>

Розрахунки.

Розсіяна радіація (D):

$$D = K (N_d - N_0) \Gamma \quad 3.13$$

де: K – перевірний множник за перевірним свідоцтвом до гальванометра та піранометра, кВт/м<sup>2</sup> (K = 0,018-0,020); N<sub>d</sub> та N<sub>0</sub> середній показник гальванометра при визначенні D з урахуванням поправки, та положення нуля гальванометра; Γ – поправочний коефіцієнт, що залежить від кута Сонця над горизонтом (з перевірного свідоцтва піранометра, Γ = 0,85-0,95).

Сумарна радіація (Q) визначається за тією ж формулою.

Пряма радіація (S'):

$$S' = Q - D \quad 3.14$$

Всі дані вписують у таблиці 3.2, 3.3, 3.4.

### 3.5. Завдання.

Визначення радіаційного балансу за допомогою термоелектричного балансоміра.  
Прилади та обладнання: балансомір; гальванометр.

Порядок виконання завдання:

1. Ознайомитися з будовою та принципом роботи балансоміра.
2. Підключити два вивідних проводи від балансоміра до клем гальванометра зі знаком "+" і "P".
3. Відрахувати місце нуля N<sub>0</sub> за гальванометром.
4. Затінити приймальну частину балансоміра від прямих сонячних променів і зробити три відліки показів стрілки гальванометра N.

Дані записати в такій формі:

Таблиця 3.5.

Результати спостережень за радіаційним балансом, Вт/м<sup>2</sup>  
Дата, час та місце спостереження.....

№ балансоміра	№ гальванометра	Відлік за гальванометром	Шкалова поправка	B, Вт/м <sup>2</sup>

Розрахунок балансу (В) проводять за формулою:

$$B = a \times K \times N \quad 3.15$$

де: а – коефіцієнт, що враховує швидкість вітру ( $a = 1,05-1,24$  при швидкості вітру 2-14 м/с); К – перевідний множник за перевірним свідоцтвом до гальванометра та балансоміра, кВт/м<sup>2</sup>; N – відлік за гальванометром.

### 3.6. Задачі:

1. Визначити інсоляцію на поверхні північного і південного схилів крутизною 12° за таких умов:

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S, Вт/м <sup>2</sup>	612	750	810	690	720	830	740	780	800	680
h, °	35	70	45	55	65	40	35	45	50	70

2. Визначити інсоляцію опівдні за таких умов:

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q, кВт/м <sup>2</sup>	0,70	0,75	0,68	0,79	0,74	0,73	0,75	0,68	0,8	0,56
D, кВт/м <sup>2</sup>	0,28	0,37	0,44	0,15	0,27	0,34	0,32	0,41	0,25	0,12

3. Обчислити кількість тепла ( $R_n$ ), яке поглинається піщаним ґрунтом ( $A_k = 24\%$ ) і чорноземом ( $A_k = 12\%$ ) за таких умов:

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S, кВт/м <sup>2</sup>	0,64	0,65	0,78	0,59	0,67	0,77	0,70	0,76	0,68	0,67
D, кВт/м <sup>2</sup>	0,47	0,44	0,35	0,47	0,29	0,35	0,27	0,48	0,35	0,32

4. Розрахувати сумарну радіацію (Q) за таких умов:

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h, °	80	65	75	84	37	74	65	54	45	40
S, кВт/м <sup>2</sup>	0,67	0,75	0,71	0,79	0,73	0,67	0,58	0,66	0,59	0,53
D, кВт/м <sup>2</sup>	0,40	0,38	0,39	0,42	0,39	0,27	0,35	0,41	0,33	0,30

5. Обчислити величину радіаційного балансу (В) для зеленого поля за такими даними:

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S, Вт/м <sup>2</sup>	670	750	710	790	720	680	590	630	540	550
D, Вт/м <sup>2</sup>	230	340	260	270	310	220	190	230	140	150
A <sub>k</sub> , %	20	30	25	45	47	35	24	18	11	32

$E_z, \text{Вт/м}^2$	130	220	210	319	280	250	140	170	150	210
$E_a, \text{Вт/м}^2$	70	110	80	95	120	140	70	110	130	55

6. Сонце над горизонтом знаходиться під кутом  $90^\circ$ . Розрахувати інсоляцію ( $S'$ ) на поверхню схилу за таких умов:

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S, \text{кВт/м}^2$	0,17	0,18	0,27	0,19	0,16	0,17	0,18	0,23	0,19	0,15

7. Визначити величину фотосинтетично активної радіації (ФАР) за вегетаційний період на території України за такими даними:

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Sigma S', \text{МДж/м}^2$	2670	1750	2710	2790	3300	2670	1580	1690	2490	3230
$\Sigma D, \text{МДж/м}^2$	1130	1370	2390	1440	2380	1250	1340	1410	1230	1120

8. Визначити кількість тепла, що поглинається поверхнею сухої трави за такими даними:

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$h, ^\circ$	30	45	55	20	43	38	25	51	37	46
$S, \text{Вт/м}^2$	870	850	820	710	750	790	690	710	730	660
$D, \text{Вт/м}^2$	110	130	210	240	210	270	130	140	125	130
$A_k, \%$	18	14	15	37	22	11	9	14	10	13

9. Визначити радіаційний баланс трав'яного поля за такими даними:

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S, \text{Вт/м}^2$	540	510	730	430	700	580	520	430	640	550
$D, \text{Вт/м}^2$	240	140	160	170	210	120	150	120	130	100
$A_k, \%$	20	30	25	45	47	35	24	18	11	32
$E_z, \text{Вт/м}^2$	110	105	100	114	150	130	107	70	160	110
$E_a, \text{Вт/м}^2$	80	90	70	95	120	110	70	40	111	51

Питання для самоконтролю та обговорення.

1. Які актинометричні прилади Ви знаєте? Який принцип їх дії?
2. Дати визначення основних видів (потоків) сонячної радіації.
3. Що таке радіаційний баланс? Від чого він залежить, на що впливає?
4. Як відбувається розсіювання сонячної радіації в атмосфері?
5. Яке значення альбедо у радіаційному балансі Землі?
6. Чому і як змінюється сонячна радіація при проходженні її через атмосферу?