

УДК 521.113.28; 528.242.281

## Визначення географічної широти за вимірюванням горизонтальних координат Сонця

О.М. Рачковський, Ц.А. Криськов

Кам'янець-Подільський державний педагогічний університет, Україна

*Описано метод визначення географічної широти місця земної поверхні в довільний час дня за вимірюванням за допомогою теодоліта горизонтальних координат ( $h, A$ ) центра Сонця. За результатами вимірювань та значенням схилення центра Сонця на момент спостереження будується параллактичний трикутник. Його розв'язок дає формулу для обчислення географічної широти. Застосування цього методу показало, що середнє значення широти м. Кам'янець-Подільського  $48^{\circ}42' \pm 6'$ .*

*ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ШИРОТЫ МЕСТНОСТИ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КООРДИНАТ СОЛНЦА, Рачковский О.М., Крыськов Ц.А. – Описан метод определения географической широты местности земной поверхности в произвольное время дня по измерениям с помощью теодолита горизонтальных координат ( $h, A$ ) центра Солнца. По результатам измерений и значениям склонения центра Солнца на момент наблюдения строится параллактический треугольник. Его решение дает формулу для вычисления географической широты. Применение этого метода показало, что среднее значение широты г. Каменец-Подольского  $48^{\circ}42' \pm 6'$ .*

*DEFINITION OF GEOGRAPHICAL BREADTH OF DISTRICT BY THE MEASURING OF HORIZONTAL COORDINATES OF THE SUN, by Rachkovsky O.M., Kryskov C.A. – The method of definition of geographical breadth of district of a terrestrial surface in any time of day on measurements with the help theodolite of horizontal coordinates ( $h, A$ ) of the centre of the Sun is described. By results of measurements and meanings of declination of the centre of the Sun on the moment of supervision is under construction a parallaxis triangle. Its decision gives the formula for calculation of geographical breadth. The application of this method has shown, that average meaning of breadth of Kamianets-Podilsky is  $48^{\circ}42' \pm 6'$ .*

### ВСТУП

В методичній літературі [1, 6] описано кілька методів визначення координат, в основному широти, за спостереженням Сонця або зір. Переважно ці методи стосуються виконання вимірювань висоти світила при його проходженні через небесний меридіан. Для верхньої кульмінації висота світила над горизонтом [1, 5]:

$$h = (90^{\circ} - \varphi) \pm \delta \quad (1)$$

Знак “+” береться для світил з додатнім схиленням, а знак “-” - для світил з від’ємним схиленням. Світилом може бути Сонце або зручна для спостережень зоря. Точність методу залежить від висоти світила над горизонтом завдяки впливу астрономічної рефракції: чим більша висота, тим краща точність. Цим же методом можна визначати й географічну довготу, користуючись зв’язком між зоряним та середнім сонячним часом.

Для уникнення труднощів вимірювання висоти Сонця в момент верхньої кульмінації (місцевий полудень), пропонується визначати його висоту на незначних відстанях від меридіану [3]. Вимірювання ведуть до і після місцевого полудня. Кутомірним інструментом (теодоліт) визначають видиму висоту  $h'$  Сонця і за цим значенням визначають наближену широту місця  $\varphi'$ :

$$\varphi' = 90^\circ + \delta - h', \quad (2)$$

Полуденна висота центра Сонця буде:

$$h = h' + r \quad (3)$$

де  $r$  – редукція. За цими результатами знаходять шукану широту:

$$\varphi = \varphi' - r \quad (4)$$

Для оцінки величини редукції  $r$  будують паралактичний трикутник, розв’язання якого приводить до виразу:

$$r = 2 \left[ \frac{\cos \varphi' \cos \delta}{\sin A' \cos h'} \right] \sin^2 \frac{t}{2} \quad (5)$$

тут:  $A'$  – азимут Сонця,  $t$  – годинний кут Сонця в момент вимірювань.

Аналізуючи цей метод, бачимо, що він громіздкий і дає наближені результати, оскільки пропонується спостерігати Сонце не безпосередньо, а проектувати його зображення і сітку ниток труби інструменту на екран.

Застосовування описаних способів обмежене, оскільки вимірювання необхідно виконувати лише в момент верхньої кульмінації Сонця (місцевий полудень) або близькі до нього. Погодні умови або інші причини можуть перешкодити своєчасному виконанню необхідних вимірювань, що ускладнює використання таких методів.

В цій роботі пропонується метод визначення широти  $\varphi$  в будь-який момент дня, який може бути використаний як в умовах вузу, так і в умовах школи. Зазначимо, що при малих висотах Сонця над горизонтом результати будуть менш точними внаслідок впливу рефракції.

Для виконання роботи необхідно:

- гномон для визначення напрямку полуденної лінії (напряму небесного меридіану);
- кутомірний пристрій для вимірювання висоти і азимуту центра сонячного диску (теодоліт, наприклад, ТТ4, ТТ5, Т30, ТШ); при відсутності теодоліта можна використати гномон-висотомір [5], але в цьому випадку азимут Сонця визначається за сонячним годинником [2] через кут між полуденною лінією і тінню покажчика в момент вимірювання;
- годинник, який показує поясний час;
- астрономічний календар на поточний рік;

*Застереження: Вимірювання горизонтальних координат Сонця теодолітом слід проводити з обов’язковим використанням дзеркальної окулярної насадки і темного світлофільтра.*

За допомогою гномона визначається напрям полуденної лінії (положення небесного меридіану). В напрямку на точку півдня  $S$  встановлюється труба теодоліта і знімаються відліки по шкалі горизонтальних кутів ( $ГК_S$ ). Після цього труба переводиться на Сонце так, щоб сітки

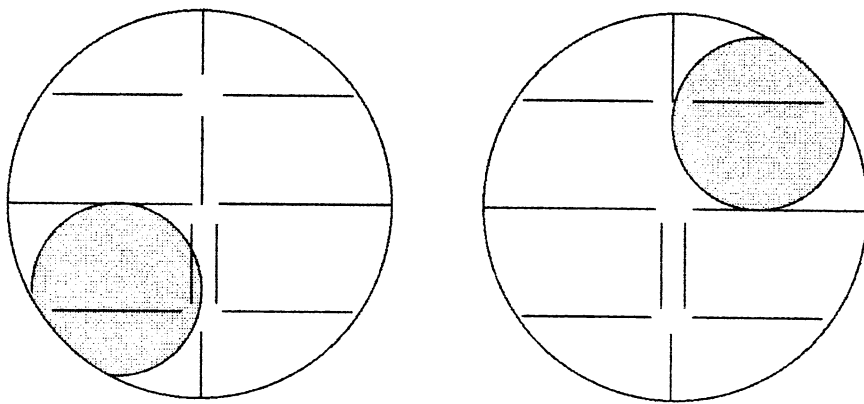


Рис. 1. Зображення Сонця (заштриховано) в зоровій трубці теодоліта в момент вимірювання.

ниток дотикались до верхнього і правого краю сонячного диска (рис. 1а) і записують відліки горизонтального (ГК<sub>1</sub>) і вертикального (ВК<sub>1</sub>) кругів, а також фіксують час (Т<sub>1</sub>) за годинником. Мікрометричними гвинтами труба теодоліта переводиться в положення, коли сітки ниток дотикаються нижній і лівий краї Сонця (рис. 1б) і знімаються відліки ГК<sub>2</sub> і ВК<sub>2</sub> та фіксується момент часу Т<sub>2</sub>. Всі вимірювання слід виконати за 1–1,5 хв.

За результатами вимірювань знаходимо:

- середній момент спостережень:  $T = \frac{T_1 + T_2}{2}$ ;
- висоту центра сонячного диска над горизонтом:  $h = \frac{BK_1 + BK_2}{2}$ , звідки зенітна відстань Сонця:  $z = 90^\circ - h$ ;
- азимут центра Сонця:  $A = \frac{ГК_1 + ГК_2}{2} - ГК_s$ .

З астрономічного календаря випикуємо схилення Сонця  $\delta$  та рівняння часу  $\eta$  на дату вимірювань і екстраполюємо його на момент спостереження.

## ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОГРАФІЧНОЇ ШИРОТИ

Будуємо паралактичний трикутник. Нехай вимірювання проводяться після місцевого полудня, тоді Сонце (М) знаходиться в південно-західній частині небесної сфери і паралактичний трикутник матиме вигляд, показаний на рис. 2а.

Сторони трикутника

$$PZ = 90^\circ - \varphi$$

$$PZ = 90^\circ - \delta$$

$$ZM = z$$

Кути трикутника

$$ZPM = t - \text{годинний кут Сонця,}$$

$$PMZ = q - \text{паралактичний кут,}$$

$$PZM = 180^\circ - A$$

Запишемо формулу косинусів та п'яти елементів для паралактичного трикутника з урахуванням доповняльних кутів:

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta - \cos \varphi \cos \delta \cos t ; \quad (6)$$

$$\sin z \cos A = -\cos \varphi \sin \delta + \sin \varphi \cos \delta \cos t \quad (7)$$

Звідки одержимо вираз для обчислення широти:

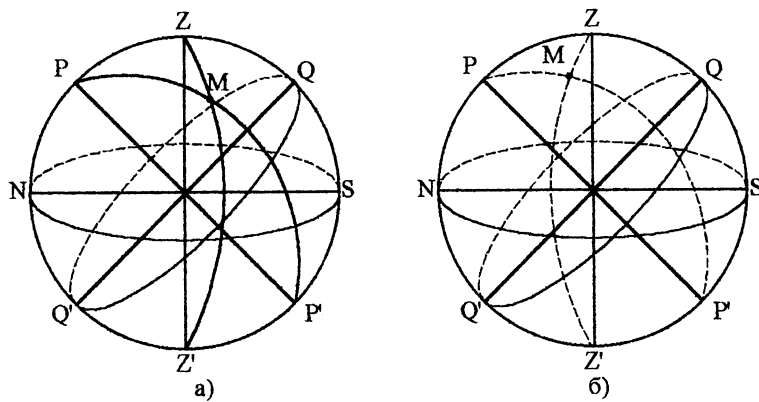


Рис. 2. Паралактичні трикутники на небесній сфері: вимірювання Сонця проведені після (а) та до (б) місцевого полудня.

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{\sin z \cos A \cos t + \sin \delta \cos t}{\cos^2 \delta \cos^2 t + \sin^2 \delta}\right) \quad (8)$$

Годинний кут  $t$  Сонця на момент вимірювань визначаємо з формули синусів:

$$t = \arcsin\left(\frac{\sin A \sin z}{\cos \delta}\right) \quad (9)$$

Якщо вимірювання проводяться до місцевого полудня, то сторони паралактичного трикутника будуть такими ж, а кути будуть відповідно рівними (рис. 2б).

$$ZPM = 360^\circ - t, \quad PZM = A - 180^\circ, \quad PMZ = q.$$

В цьому випадку азимут центра Сонця визначається з виразу

$$ГК_S - \frac{ГК_1 + ГК_2}{2} = 360^\circ - A'.$$

Розв'язок паралактичного трикутника (знаходження широти) проводиться за аналогічною схемою.

Звісно, що цей метод більш складний і громіздкий, ніж метод кульмінацій, проте він дає можливість проводити визначення географічної широти в будь-який момент дня і сприяє виробленню навичок роботи з кутомірними інструментами.

Використання описаного методу дає значення географічної широти місця спостереження в межах ( $48^\circ 42' \pm 6'$ ), тоді як довідникові значення широти Кам'янець-Подільського [4]  $48^\circ 41'$ , що підтверджує достатню його точність.

1. *Игнатовский П.И.* Практическая работа по определению географической широты. // *Физика в школе.* – 1963. № 4; – с. 72–73.
2. *Криськов Ц.А., Лашкул О.В.* Метод визначення координат земної поверхні за спостереженням Сонця // *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського державного педагогічного інституту, сер. фізико-математ., вип. 1.* – Кам'янець-Подільський, 1993. – с. 134–138.
3. *Попов П.И., Богуславская Н.Я.* Практикум по астрономии. – М.: Учпедгиз, 1959. – с. 85–87.
4. *Чепрасов В.Г.* Практикум з курсу загальної астрономії. – К.: Радянська школа, 1967. – 170 с.
5. *Шишаков В.А., Новиков И.Д.* Самодельные астрономические инструменты и наблюдения с ними. – М.: Наука, 1963. – 123 с.
6. *Яхно Г.С.* Наблюдения и практическая работа по астрономии в средней школе. – М.: Просвещение, 1978. – с. 43–46

Надійшла до редакції 20.09.99

*Рачковський О.М., Криськов Ц.А.*