

## **Разностно-зенитальный способ определения астрономических координат для высоких широт**

© А. С. Глазунов

СГУГиТ, г. Новосибирск, Россия

В статье предложено решение проблемы астрономических определений в высоких широтах, где в условиях полярного дня можно наблюдать только яркие звезды. По этой причине, а также из-за увеличения погрешностей визирования такие классические способы определений как способы Талькотта, Певцова и Цингера становятся неэффективными. Для решения этой проблемы автором был предложен Комбинированный разностно-зенитальный способ определения широты (КРЗС). Появление в геодезическом производстве угломерных инструментов с электронным отсчитыванием кругов позволяет модернизировать методику астрономических определений. Используя совместные отсчеты вертикального и горизонтального круга для одних и тех же моментов времени, можно по одной паре определять астрономическую широту и долготу. Пары комбинированного разностно-зенитального способа хорошо подходят для таких определений. Приведены примеры записи наблюдений, формулы вычислений широты и долготы, сделан вывод о перспективности таких определений.

**Ключевые слова:** астрономические определения в высоких широтах, комбинированный разностно-зенитальный способ определения широты, электронные угломерные инструменты.

### **Введение**

В настоящее время на самом высоком уровне заявлено о возвращении России в Арктику. Происходит восстановление и развитие как гражданских, так и военных объектов. Для реализации этих целей потребуется развертывание геодезических работ, составной частью которых являются определения астрономических координат и азимутов.

### **Постановка задачи**

Одной из проблем геодезической астрономии являются определения в высоких широтах. Вследствие особых условий высоких широт (незаходящее Солнце в наиболее благоприятный по климатическим условиям период года, малая скорость движения звезд по зенитному расстоянию) классические спо-

собы – Талькотта, Певцова и Цингера становятся неэффективными на широтах выше  $70^\circ$ . В высоких широтах в наиболее благоприятный период года астрономические определения возможны при обеспеченности программы наблюдения яркими звездами ( $m < 4$ ).

### Теоретическое обоснование поставленной задачи

С. С. Уралов предложил определять широты из наблюдений пар Певцова по методике способа Талькотта [1], однако и это предложение не полностью решало проблему. Нами, как развитие способа Уралова, был предложен Комбинированный разностно-зенитальный способ (КРЗС) [2]. В КРЗС можно наблюдать пары с удалением звезд от меридиана от  $0^\circ$  до  $45^\circ$ , пары вне меридиана с разностью  $Z$  звёзд больше  $0'$ , многократно подряд наблюдать наиболее выгодные пары. Схемы наблюдения пар Певцова и пар КРЗС приведены на рис. 1 и 2, где  $\sigma_{nW}$  и  $\sigma_{sW}$  – северо-западная и юго-западная звёзды пар Певцова и КРЗС,  $\sigma_{nE}$  и  $\sigma_{sE}$  – северо-восточная и юго-восточная звёзды пар Певцова и КРЗС.

Эти предложения заметно повышают производительность определений широты и позволяют в средних широтах выполнять программу определения на инструменте типа АУ-2/10 за 1.5–2 часа, но особенно заметен выигрыш в производительности по сравнению с классическими способами в высоких широтах. Способ обеспечен программами составления и пересчёта эфемерид. Образцы эфемерид для многократных наблюдений одной пары приведены в табл. 1.

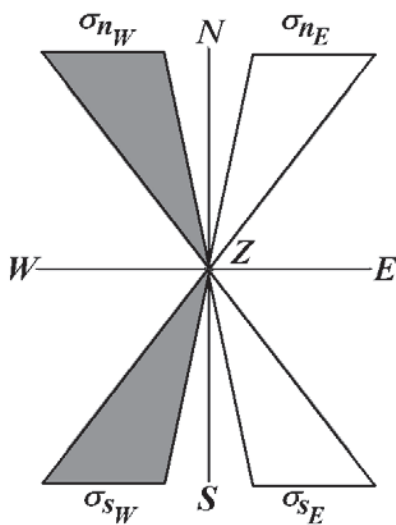


Рис. 1. Пары Певцова

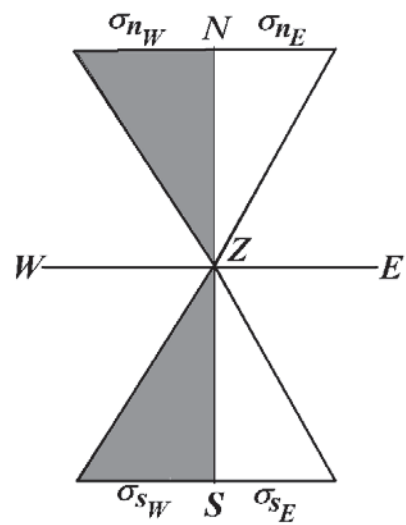


Рис. 2. Пары КРЗС

Таблица 1

Эфемериды для многократных наблюдений пары КРЗС  
Таблица пар, широта  $\varphi = 54^\circ 59' 12''$

№ пар	№ звезд	Яркость	Время	$Z_{cp}$ $\Delta Z$	$A_s$ $A_n$
		$m_s$ $m_n$	$S_s$ $S_n$		
1	505	3.7	$21^h 46^m 17^s$	$40^\circ 33' 26''$	$24^\circ 40' 25''$
	367	3.0	$21^h 51^m 36^s$	$01' 54''$	$151^\circ 54' 08''$
2	505	3.7	$21^h 54^m 36^s$	$41^\circ 37' 00''$	$27^\circ 35' 38''$
	367	3.0	$21^h 59^m 55^s$	$00' 00''$	$152^\circ 24' 23''$
3	505	3.7	$22^h 02^m 55^s$	$42^\circ 10' 49''$	$30^\circ 27' 35''$
	367	3.0	$22^h 08^m 14^s$	$01' 52''$	$152^\circ 55' 40''$

Широта вычисляется по полученной нами формуле [2]

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\cos \delta_2 \cdot \cos t_2 \cdot \cos \Delta Z - \cos \delta_1 \cdot \cos t_1 - \frac{\sin Z_2 \cdot \sin \Delta Z}{\cos \varphi_0}}{\sin \delta_1 - \sin \delta_2 \cdot \cos \Delta Z}, \quad (1)$$

которая является общей для всех разностно-зенитальных способов. Разработка внедрена в Северо-Западном предприятии при астроопределениях на арх. Шпицберген.

### Реализация поставленной задачи

С появлением электронных угломерных инструментов, оснащенных компенсаторами наклона, появилась возможность модернизировать способы астрономических определений. Одновременное отсчитывание горизонтального и вертикального кругов позволят совмещать зенитальные и азимутальные способы астрономических определений. Так, наблюдая пары звезд вблизи меридиана, можно получать по отсчетам вертикального круга широту, а по отсчетам горизонтального — долготу. Соответствующие способы описаны в [1]. КРЗС хорошо подходит для таких определений, что подтверждено опытными наблюдениями. Методика таких определений описана в [3].

Образец записи совместных определений широты и долготы по паре КРЗС приведен в табл. 2.

Таблица 2

Журнал определения широты и долготы по паре КРЗС

№ Отсчёта	Звезда №526-N Время	Отсчёты круга	Звезда № 126-S Время	Отсчёты круга
1	$0^h 46^m 07.95^s$	Вк $49^\circ 21' 19''$ Гк 160 14 54.5	$0^h 50^m 29.06^s$	$50^\circ 38' 46''$ 26 19 21
2	0 46 43.78	Вк 49 23 09 Гк 160 18 20	0 50 58.46	50 40 28 26 28 28
3	0 47 15.27	Вк 49 24 38.5 Гк 160 21 17	0 51 23.38	50 42 12 26 36 16.5

Каждому значению широты, вычисленной по формуле (1), назначался вес  $P\varphi_i = (\cos A_N - \cos A_S)^2$ , и окончательное значение  $\varphi$  получено как средневесовое.

Долгота по отсчетам горизонтального круга вычислялась по формулам [1]

$$l_i = l_0 + \Delta l_i; \quad \Delta l_i = y_i / 15 \cos \varphi;$$

$$y_i = \frac{[(A_{0N} - A_{0S}) - (N'_N - N'_S)] \operatorname{tg} z}{\cos A_N - \cos A_S}, \quad (2)$$

где  $A_{0NS}$  — вычисленные значения азимутов звезд, а  $N'_{NS}$  — измеренные направления на звезды по горизонтальному кругу. Вес  $y_i$  равен  $P_i = 2 \cos^2 A_N \cos^2 z$ .

Окончательное значение долготы пункта получим из выражения

$$l = l_0 + y_{cp} / 15 \cos \varphi,$$

где  $y_{cp}$  — средневесовое значение.

Таблица 3

Технические характеристики тахеометра SET2C

Характеристика	Значение
Увеличение	30 <sup>x</sup>
Разрешающая способность	3"
Точность (по DIN 18723)	2"
Компенсатор	Двухосевой

Для экспериментальных определений использовался электронный тахеометр SET2C, его технические характеристики приведены в табл. 3.

### Заключение

Многочисленные определения астрономических координат по этой методике показали хорошее согласие результатов с точностью инструмента. В табл. 4 приведены результаты определений широты и долготы,

Таблица 4

Результаты определений астрономических координат

Определения							
Широта					Долгота		
Год	Число пар	Среднее значение	СКО по одной паре	СКО среднего	Среднее значение	СКО по одной паре	СКО среднего
2007	8	12".04	2".82	0".86	28 <sup>s</sup> .16	0 <sup>s</sup> .36	0 <sup>s</sup> .16
2016	9	12.05	3.30	1.10	27.61	0.61	0.20

выполненных на пункте. Дальнейшее развитие подобная методика может получить при использовании для наблюдений более точных инструментов с ПЗС-микрометром [4]. Применение в качестве приёмника изображения ПЗС-матрицы позволит повысить как точность, так и производительность определений.

### **Литература**

1. Уралов С. С. Курс геодезической астрономии. — М.: Недра, 1980. — 592 с.
2. Глазунов А. С. Исследование и совершенствование разностно-зенитальных способов определения широты: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук // Новосибирск: СГГА, 2002. — 197 с.
3. Глазунов А. С. Методика совместного определения астрономических координат для электронных теодолитов // Новосибирск: Вестн. СГГА. — 2014. — Вып. 3. — С. 64–69.
4. Глазунов А. С., Голдобин Д. Н. Оперативное определение уклонений отвесных линий из астроопределений на полевом оптикоэлектронном астрономическом комплексе // Труды ИПА РАН. — СПб.: Наука, 2007. — Вып. 17. — С. 218–222.

## **A Differential-Zenithal Method to Determine Astronomical Coordinates for High Latitudes**

**A. S. Glazunov**

The article proposes a solution of the problem of astronomical definitions in high latitudes, where only bright stars can be observed in the conditions of a polar day. For this reason, and also because of the increase in sighting errors, such classical methods of definitions as the methods of Talcott, Pevtsov and Tsinger become ineffective. To solve this problem, the author proposed a Combined Difference-Zenithal Method to Determine the Latitude (CDZM). The appearance in the geodetic production of goniometric tools with electronic counting of circles allows us to improve the method of astronomical definitions. Joint readings of the vertical and horizontal circles for the same moments of time make it possible to determine astronomical latitude and longitude by one pair. Couples of the combined differential-zenithal method are well suited for such determinations. Examples are given of recording observations, formulas for calculating latitude and longitude, and a conclusion is made about the operability of such definitions.

**Keywords:** astronomical determinations in high latitudes, combined differential-zenithal method for determining latitude, electronic goniometer instruments.