

*В. М. КОЛГУНОВ, М. П. КУЛИНИЧ*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСТОЯНСТВА МАСШТАБА АСТРОНЕГАТИВОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПОЛЕВЫХ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗВЕЗД**

В задачах полевой астрономии, решаемых с помощью астрофотографии, важную роль играет постоянство масштаба негатива. Его стабильность во многом определяют условия наблюдений и последующая фотохимическая обработка экспонированного в ходе астронаблюдений фотоматериала. Изменение фокусного расстояния оптической системы зрительной трубы астрономического теодолита вследствие вариаций температуры внешней среды, рефракция, невыравнивание фотопленки в плоскость, остаточные aberrации оптики, деформации негатива и другие факторы искажают пространственно-временные характеристики астронегатива и вызывают непостоянство его масштаба.

В настоящем исследовании на основе реальных фотографических наблюдений звезд изучено постоянство масштаба центральной части астронегатива по различным звездам и на разных негативах. Результаты проведенного эксперимента актуальны для решения редуccionных задач на астронегативах.

Экспериментальные наблюдения звезд выполнены с использованием астрономического теодолита АУ 2/10 с фотонасадкой, собранной на базе камеры фотоаппарата «Зенит 3М» [1], и усовершенствованной модели полевого хронорегистратора [3]. Конструкция фотонасадки такова, что фото пленка располагается на расстоянии  $\sim 60$  мм за выходным зрачком окуляра зрительной трубы АУ 2/10. Фокусировка изображений звезд на фото пленке достигалась перемещением окуляра в сторону фото пленки на 1—2 мм от того положения, при котором фокусы объектива и окуляра совпадают [1]. Учитывая, что масштаб астронегативов равен  $\sim 82''$ , рассчитаем эквивалентное фокусное расстояние  $F_{\text{экв}}$  оптической системы объектив—окуляр, исходя из формулы

$$M = \rho / F, \quad (1)$$

где  $F$  (для рассматриваемого случая) — это искомое эквивалентное фокусное расстояние  $F_{\text{экв}}$ . По формуле (1) получим  $F_{\text{экв}} \approx \approx 2,5$  м. Отметим, что изменение масштаба негатива  $M$  вследствие изменений  $F_{\text{экв}}$  обратно пропорционально абсолютному значению  $F$  [4].

Из имевшегося в распоряжении наблюдательного материала — астронегативов со следами прохождений звезд пар Цингера и Певцова — предпочтение отдано первым ввиду большей внутренней однородности материала: на каждом негативе представлены следы двух звезд с примерно равными склонениями ( $\delta_E \approx \delta_W$ ) и одинаковыми скоростями движения. Снимки со следами звезд пар Певцова менее пригодны — эти звезды резко различаются по склонению ( $\delta_N \gg \delta_S$ ), а вследствие малой скорости северных звезд снижается точность регистрации их прохождений.

В итоге проведенного эксперимента обработаны измерения 30 негативов с изображениями следов звезд пар Цингера (за три видимости). Яркость экспонированных звезд — от  $2,4^m$  до  $4,0^m$ , склонения — от  $24^\circ$  до  $39^\circ$ . Для наблюдений использовали 35-миллиметровую фото пленку ORWO NP7 (ГДР) чувствительностью 27 DIN (около 360 единиц по ГОСТу 0,2).

Масштаб астронегатива в секундах дуги на миллиметр вычисляли по формуле

$$M = \frac{15 \cos \delta}{V_\sigma}, \quad (2)$$

где  $V_\sigma$  (мм/с) — скорость движения изображения звезды в плоскости негатива при неподвижном приборе. Значение  $V_\sigma$  вычисляется по результатам линейных измерений следов звезд на астронегативе.

Принятая методика линейных измерений и математической обработки их результатов, позволяющая минимизировать влияние погрешностей измерений снимков, остаточных aberrаций оптики и атмосферного дрожания изображений звезд, описана в [2]. Все линейные измерения выполнены на монокомпараторе «Аскоркорд» в два приема с поворотом негатива на  $180^\circ$  между приемами. След звезды на негативе представляет ряд точек (элементарных следов), полученных в результате многократного фотографирования звезды на один и тот же кадр с экспозицией 1 с и интервалом между экспозициями 4 с. Точность измерения отдельного элементарного следа звезды из одного приема 3—4 мкм ( $\sim 0,3''$ ).

Вследствие того, что работа экспозиционного затвора фотонасадки АУ 2/10 программно управляется импульсами секундных сигналов собственной шкалы времени хронорегистратора [3] (кратными пяти), линейные интервалы между точками следа каждой экспонированной звезды на негативе постоянны (в пределах погрешностей наблюдений) и зависят от склонения звезды. Поскольку максимальное количество измеряемых элементарных следов каждой звезды на негативе равно 10, предельный промежуток времени, соответствующий всему следу, составит 45 с, что для экваториальной звезды ( $V_\sigma \approx 0,18$  мм/с) даст отрезок в 8,2 мм. Поэтому максимальный размер рабочего поля (центральной части негатива), в пределах которого измерялись следы звезд, принимали равным площади круга диаметром 10 мм.

Результаты вычисления масштабов астронегативов приведены в таблице. По значениям средних масштабов вычислены средние квадратические погрешности определения масштаба отдельного негатива для каждой видимости по формуле  $m = \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n-1}}$ , где  $\delta$  — уклонение масштаба негатива от среднего за видимость,  $n$  — число негативов. Эти значения для первой, второй и третьей видимостей составляют соответственно  $0,14''$ ,  $0,10''$  и  $0,17''$ .

Результаты выполненного исследования позволяют заключить, что в пределах рабочего поля суммарное влияние на изменение масштаба астронегатива вариаций температуры внешней среды, невыравнивание фотопленки в плоскость и деформаций негатива не превосходит ошибок измерений снимка. Это объясняется достаточно большим значением эквивалентного фокусного расстояния оптической системы АУ 2/10 ( $F_{\text{экв}} \approx 2,5$  м) и малым промежуток времени наблюдений пары звезд — для первого из перечисленных факторов влияния и малой площадью рабочего поля ( $D \approx 10$  мм) — для двух последующих факторов. Колебания масштаба в области рабочего поля негатива также лежат в пределах ошибок измерений. Незначительное различие масштабов, полученных по двум звездам в пределах одного снимка, позволяет пользоваться средним для пары звезд значением  $M$  при выполнении различных редукиций на этом снимке.

## Результаты вычислений масштабов астронегативов

Дата наблюдений	№ пары Цингера	Звезды пары	Масштабы негативов	Средний масштаб	$\delta$
1/2.09.1979 г.	883	<i>m</i> E-517—3,4	81,74	81,96	-0,04
		W-370—3,7	82,19		
	899	E-558—3,1	81,82	81,88	-0,12
		W-370—3,7	81,93		
	903	E-518—3,8	81,96	82,05	+0,05
		W-417—3,4	82,14		
	911	E-558—3,1	81,94	81,76	-0,24
		W-405—3,0	81,59		
	915	E-560—3,7	81,98	82,03	+0,03
		W-416—3,2	82,08		
	925	E-13 —3,5	82,02	81,90	-0,10
		W-405—3,0	81,77		
	933	E-22 —3,9	82,30	82,17	+0,17
		W-417—3,4	82,04		
939	E-13 —3,5	82,34	82,20	+0,20	
	W-435—3,8	82,07			
955	E-13 —3,5	82,21	82,14	+0,14	
	W-461—3,3	82,06			
967	E-44 —3,6	82,16	82,06	+0,06	
	W-473—3,2	81,96			
975	E-27 —2,4	82,10	81,88	-0,12	
	W-508—2,6	81,67			
			Среднее	82,00 <sup>[<math>\delta^2</math>]</sup>	=0,194
2/3.09.1979 г.	899	E-558—3,1	81,88	81,76	-0,17
		W-370—3,7	81,63		
	911	E-558—3,1	82,01	81,94	+0,01
		W-405—3,0	81,86		
	915	E-560—3,7	82,23	81,92	-0,01
		W-416—3,2	81,62		
	925	E-13 —3,5	81,98	81,97	+0,04
		W-405—3,0	81,96		
	933	E-22 —3,9	82,08	81,92	-0,01
		W-417—3,4	81,77		
	939	E-13 —3,5	82,24	82,12	+0,19
W-435—3,8		82,01			
943	E-22 —3,9	81,91	81,89	-0,04	
	W-433—4,0	81,87			
955	E-13 —3,5	82,04	81,90	-0,03	
	W-461—3,3	81,77			
			Среднее	81,93 <sup>[<math>\delta^2</math>]</sup>	=0,069
3/10.09.1979 г.	899	E-558—3,1	81,78	81,65	-0,12
		W-370—3,7	81,52		
	903	E-518—3,8	81,94	81,90	+0,13
911	E-558—3,1	81,98	81,83	+0,06	
	W-405—3,0	81,68			

Дата наблюдений	№ пары Цингера	Звезды пары	Масштабы негативов	Средний масштаб	$\delta$
"	915	$E-560-3,7$ $W-416-3,2$	81,36 81,73	81,54	$-0,23$
"	921	$E-565-2,6$ $W-429-3,5$	81,98 81,75	81,86	$+0,09$
"	925	$E-13-3,5$ $W-405-3,0$	81,88 81,76	81,82	$+0,05$
"	933	$E-22-3,9$ $W-417-3,4$	81,72 81,89	81,80	$+0,03$
"	939	$E-13-3,5$ $W-435-3,8$	81,43 81,53	81,48	$-0,29$
"	955	$E-13-3,5$ $W-461-3,3$	81,74 81,96	81,85	$+0,08$
"	967	$E-44-3,6$ $W-473-3,2$	81,86 81,56	81,71	$-0,06$
"	975	$E-27-2,4$ $W-508-2,6$	82,13 82,03	82,08	$+0,31$
			Среднее	$81,77[\delta^2]=0,289$	

Список литературы: 1. Коваленко В. А., Колгунов В. М. Об опытных астрономических наблюдениях фотографическим способом. — Геодезия и картография, 1976, № 3. 2. Коваленко В. А., Колгунов В. М. О некоторых погрешностях фотографического метода полевых астроопределений. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1983, вып. 38. 3. Колгунов В. М., Гончаренко Ю. Я. Полевой программный хронорегистратор для астрономических наблюдений фотографическим способом. — Геодезия и картография, 1977, № 8. 4. Курс астрофизики и звездной астрономии. — М.: Наука, 1973, т. 1.