

УДК 520.25

## Качество изображений звезд и определение размеров рабочего поля на пластинках широкоугольных астрографов

Г. А. Иванов

На основании оценок качества изображений и ошибок измерений положений звезд разными измерителями определен радиус рабочего поля пластинки, полученной на широкоугольном астрографе. Для большинства инструментов, принимающих участие в работе по программе фотографического обзора Северного неба, диаметр рабочего поля близок к  $4^\circ$ .

*THE STELLAR SEEING AND DETERMINATION OF DIMENSIONS OF THE WELL-CORRECTED FIELD ON THE PLATES OF WIDE-ANGLE ASTROGRAPHS, by Ivanov G. A.— The radius of the well-corrected field on the plate is determined from the seeing estimates and measurement errors of stellar positions using different methods. Most of the instruments used in photographic review of Northern sky have the diameter of the well-corrected field about  $4^\circ$ .*

В связи с работой по созданию фотографического обзора Северного неба (ФОН) представляют интерес данные о размерах рабочего поля широкоугольных астрографов, на которых ведутся наблюдения. Список всех инструментов, на которых предполагалось вести фотографирование по программе ФОН, дан в работе [1]. Широугольные астрографы Цейса, о которых будет идти речь в данной статье, имеют диаметры объективов 400 мм, фокусные расстояния 2000 и 3000 мм.

Термин «рабочее поле» определен недостаточно точно. В практике фотографической астрометрии под этим обычно понимают ту область фотопластинки, где изображения, при хорошем гидировании, получаются достаточно круглыми, а влияние аберраций объектива на форму изображений звезд, хорошо заметное в краевых участках пластинки, еще не ощущается при просмотре через лупу с сильным увеличением или посредством микроскопа измерительного прибора. Размер рабочего поля может быть оценен также в результате определения ошибок положений звезд по полю пластинки, хотя и в этом случае возникает некоторая неопределенность, зависящая от принятой величины допустимых ошибок. Представляет интерес оценка рабочего поля до начала измерений путем визуального просмотра изображений звезд. При этом сравнение оценок отдельных наблюдателей становится затруднительным, так как они в достаточной степени субъективны.

**Определение эллиптичности изображений звезд.** В данной работе излагаются некоторые результаты попытки применения простых критериев, которые дали бы возможность как-то унифицировать эти оценки и сравнить их между собой. Самый простой критерий — форма изображения, отличие его от круглого. Из-за влияния астигматизма и комы в областях пластинки, близких к краю, форма становится очень сложной (эллиптичность, ромбообразность, хвостатость и т. д.).

Эллипсоидные изображения имеют большие оси примерно в направлениях, перпендикулярных диагоналям пластинки. Поскольку в современных координатно-измерительных машинах типа «Аскорекорд» нет возможности поворачивать пластинку, то прямое измерение такой эллиптичности становится затруднительным. Кроме того, измерения

пластинок обычно проводятся по направлениям сферических координат. Практика измерений показала, что неравенство «вертикального» и «горизонтального» диаметров становится заметным также при измерении прямоугольных координат по направлениям  $\alpha$  и  $\delta$ . Поэтому в качестве первого критерия оценки изображения решено использовать величину

$$\Theta = \frac{D_\alpha - D_\delta}{D_\alpha},$$

где  $D_\alpha$  и  $D_\delta$  — размеры изображений звезд по соответствующим направлениям сферических координат.

Кроме унификации самого критерия эллиптичности необходимо также унифицировать условия получения материала и выбора измеряемых звезд. В специально составленной инструкции наблюдателям было предложено фотографировать площадку с координатами  $\alpha_{1981} = 12^h 21.8^m$  и  $\delta_{1981} = +27^\circ 36'$ , а так же рекомендовано применять пластинки ZU-21, экспозицию  $1^m$  и  $20^m$ , зенитное расстояние в пределах  $\pm 10^\circ$ , однотипное проявление. Качество гидирования оценивалось по круглости центральных изображений.

Для измерения диаметров рекомендовано использовать 29 звезд, расположенных в центральном участке пластинки диаметром  $5.5^\circ$ , разбитом на три зоны со средним расстоянием от центра  $0.5^\circ$ ,  $1.5^\circ$  и  $2.5^\circ$ .

Хорошо виден скачок в значениях ( $\Theta$ ) для третьей зоны (табл. 1). Наличие эллиптичности даже в центральных зонах для II камеры астрографа ГАО АН УССР — скорее всего результат влияния погрешностей оптической системы на структуру изображений звезд. Можно предположить, что на расстоянии, примерно равном  $2^\circ$  от центра пластинки, отсутствуют значительные искажения формы изображений звезд. Визуальный просмотр пластинок стандартной области, полученных на разных астрографах, также показал, что форма изображений звезд близка к круговой на расстояниях, не превышающих  $1.5^\circ - 2.0^\circ$ , и выбор радиуса рабочего поля на пластинке целесообразно определить этими размерами.

**Оценка границ рабочего поля снимка.** При этом мы исходили из следующих соображений. Ошибки наведения и измерения изображений звезд, во многом определяемые структурой (формой) объекта, должны изменяться по мере удаления от центра пластинки. В центральной области снимка, где форма изображений звезд не отличается от круговой, оценка центра тяжести изображения измерителем более или менее достоверна в том смысле, что она мало различается для разных

Таблица 1. Определение эллиптичности ( $\Theta$ ) изображений звезд

Количество звезд в зоне	Средний радиус зоны	Значения $\Theta$				
		Киев (ГАО АН УССР)		Зеленчук (АОЭ)	Николаев (ГАО АН СССР)	Звенигород (Астросвет)
		I камера	II камера			
9	$0.5^\circ$	-0.007 (0.016)	0.043 (0.047)	-0.004	0.003	Различие диаметров
10	$1.5^\circ$	0.005 (0.016)	0.056 (0.067)	0.013	0.004	В пределах ошибок измерений
10	$2.5^\circ$	0.078 (0.048)	0.069 (0.076)	0.560	0.007	Эллиптичность увеличивается

Примечание. В скобках приведены значения, выведенные по второй паре пластинок, которые на обеих камерах получены одновременно.

измерителей. С увеличением расстояния от центра снимка форма изображений начинает изменяться и оценка положения центра тяжести изображения становится более субъективной. В случае измерения одних и тех же звезд на пластинке несколькими измерителями разбросы ошибок измерений для центральной области не должны значительно отличаться между собой, но начиная с некоторого расстояния, где происходит видимое искажение формы изображений звезд, они могут существенно возрасти. Анализируя значения ошибок измерений с привлечением статистических гипотез, можно выбрать на пластинке область, где они изменяются незначимо. Граница этой области и будет служить границей рабочего поля снимка. С этой целью пятью измерителями на пластинке ША ГАО АН УССР (I камера) были измерены 29 звезд, выбранных ранее для сравнения качества изображений; вычислены расстояния

$$l_i = \sqrt{\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2}, \quad i = 1, 2, \dots, 29,$$

где  $l_i$  — расстояния от центра тяжести системы, выведенного по 29 звездам, до каждой из измеряемых звезд. Все измеренные звезды объединены в три группы со средним радиусом зоны  $0.5^\circ$ ,  $1.5^\circ$  и  $2.5^\circ$  (табл. 1). Затем значения  $l_i$  для каждой звезды в группе сравнивались с аналогичными величинами, определенными по результатам измерений других измерителей. Среднеквадратичные ошибки разности определения одного расстояния ( $l_i$ ) отдельно по каждой зоне для двух измерителей вычисляли по формуле вида

$$\sigma_{\Delta l_{(1-2),i}} = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^k \frac{(l_{i,1} - l_{i,2})^2}{k-1}},$$

где  $k = 9$  для 1-й зоны, 10 для 2-й и 3-й. Аналогичные ошибки определяли попарно для разных измерителей (всего 10 пар сравнения). Усреднение их для каждой зоны дало следующие величины:  $\sigma_{\Delta l, I} = \pm 4.0$  мкм,  $\sigma_{\Delta l, II} = \pm 5.2$  мкм,  $\sigma_{\Delta l, III} = \pm 7.0$  мкм. Значения  $\sigma_{\Delta l, I}$  и  $\sigma_{\Delta l, III}$  особенно отличаются при 1 и 5%-м уровне значимости.

Сравнение среднеквадратичной ошибки наведения, выведенной по отклонениям от среднего при четырех наведениях на изображение звезды, для разных измерителей дало следующие величины ошибок:  $\sigma_{x,y, I} = \pm 4.2$  мкм,  $\sigma_{x,y, II} = \pm 4.1$  мкм,  $\sigma_{x,y, III} = \pm 4.8$  мкм. Для III зоны также наблюдалось некоторое увеличение ошибки наведения. При подсчете  $\sigma_{\Delta l}$  и  $\sigma_{x,y}$  в каждой группе звезд отбрасывалась звезда, имеющая самое большое значение  $\Delta l$  и ошибку наведения (значения близкие к  $3\sigma$ ). Следовательно, по результатам визуальной оценки, определения эллиптичности изображений звезд и ошибок измерений положений звезд разными измерителями, границей рабочего поля на пластинке, по крайней мере для ША ГАО АН УССР, можно считать окружность с радиусом, примерно равным  $2^\circ$ .

**Фотометрические разрезы звезд.** Оценку качества изображений звезд на пластинках попытались провести с привлечением фотометрических методов. С этой целью на пластинках разных астрографов получены фотометрические разрезы яркой звезды ( $4.0^m$ ), расположенной на расстоянии, примерно равном  $2^\circ$  от геометрического центра пластинки по направлению к одному из ее углов. Вследствие астигматизма изображение слегка эллиплично в направлении, перпендикулярном к радиальному. В микрофотометре МФ-4 мы не смогли сориентировать пластинку таким образом, чтобы получить разрезы звезды в радиальном и трансверсальном направлениях, поэтому пришлось ограничиться ее вертикальными (направление  $\delta$ ) и горизонтальными (направление

α) разрезами. Экспозиция на пластинках была одинаковой и составляла 20<sup>m</sup>.

На рисунке хорошо видно различие в крутизне склонов, объясняющееся, скорее всего, влиянием внеосевой аберрации — комы.

В табл. 2 приведены размеры ядра и ореола для положений *a* и *b* (рисунок). Все разрезы получены при перемещении пластинки в приборе сверху вниз (направление δ) и слева направо (направление α). Визуальный просмотр пластинок разных астрографов показал, что в комобразных изображениях головка комы — более плотный участок изображения — направлена в радиальном направлении к центру пластинки; ореол более широкий со стороны, обращенной к центру, т. е. на этом участке происходит более интенсивное рассеяние света в эмуль-

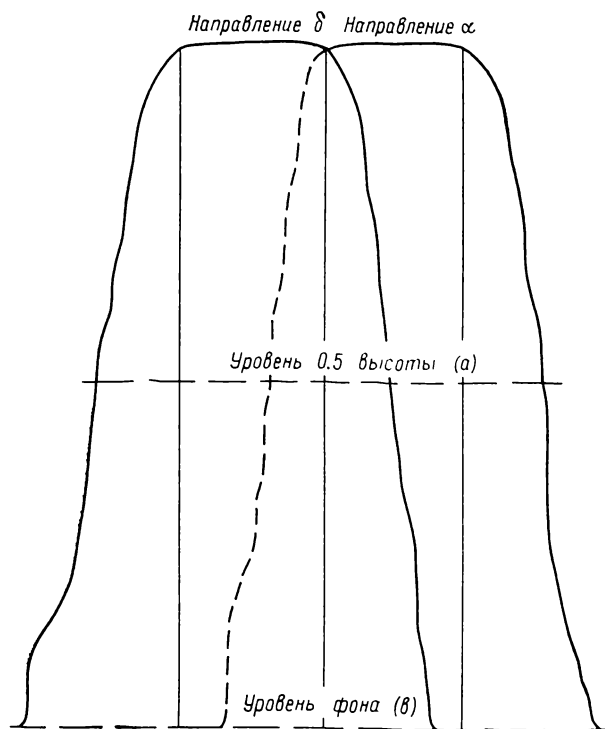
Таблица 2. Размеры ядра и ореола, определенные по фотометрическим разрезам звезд (в делениях диаграммной ленты)

Астрографы	Положения	Направление α			Направление δ		
		ореол	ядро	ореол	ореол	ядро	ореол
Абастуманн, 400/3000	<i>a</i>	7	18	10 (2.06)	11	19	8
I камера	<i>b</i>	13	18	17 (1.16)	20	19	14
II камера	<i>a</i>	8	18	10 (1.85)	12	18	9
	<i>b</i>	13	18	16 (1.06)	19	18	20
Китаб, 400/3000	<i>a</i>	6	14	7 (2.25)	6	13	5
	<i>b</i>	11	14	11 (1.32)	10	13	9
Киев (ГАО АН УССР), 400/2000	<i>a</i>	8	13	10 (1.46)	11	14	8
I камера	<i>b</i>	13	13	15 (0.92)	17	14	14
II камера	<i>a</i>	8	14	10 (1.65)	9	14	7
	<i>b</i>	14	14	15 (1.02)	16	14	10
Зеленчук (АОЭ), 400/2000	<i>a</i>	15	23	16 (1.40)	17	21	15
	<i>b</i>	20	23	22 (1.05)	22	21	20
Душанбе, 400/2000	<i>a</i>	11	19	13 (1.48)	14	18	12
	<i>b</i>	17	19	21 (0.95)	19	18	21
Звенигород (Астросвет), 400/2000	<i>a</i>	12	16	12 (1.32)	12	15	11
	<i>b</i>	16	16	15 (0.97)	17	15	16
Москва (ГАИШ), 230/2300	<i>a</i>	6	11	7 (1.58)	6	8	5
	<i>b</i>	10	11	13 (0.88)	9	8	11
Николаев (ГАО АН СССР), 120/2100	<i>a</i>	5	6	4 (1.47)	6	6	4
	<i>b</i>	9	6	8 (0.74)	12	6	10

Примечание. В скобках приведены усредненные по направлениям α и δ значения отношений размеров ядра и ореола.

сии. Это хорошо видно из сравнения значений размеров ореола для левого и правого крыла разрезов изображений звезд (табл. 2).

Нетрудно заметить, что для случая *b*, значения величин, приведенных в скобках, в среднем близки к 1, т. е. увеличение диаметра ядра пропорционально увеличению ореола. В случае пластинки, полученной на астрографе в Китабе, нижний участок крыльев видимо теряется из-за высокого уровня плотности фона, что и приводит к значению 1.32.



Можно предположить, что ширина крыльев (случай *b*), в основном, определяется рассеянием света в эмульсии, а в случае *a* зависит также и от величины дрожания атмосферы в момент наблюдений. С увеличением фокусного расстояния инструмента влияние эффекта дрожания на изображения звезд на пластинке должно возрастать. Для астрографов с фокусным расстоянием 3000 мм это проявляется в увеличении крутизны склона крыльев разрезов изображений звезды (см. значения отношений раз-

Фотометрические разрезы яркой звезды на пластинке астрографа Абастумани (I камера) для положений *a* и *b*

меров ядра и ореола для случая *a*, (табл. 2), по сравнению с аналогичными разрезами для инструментов с фокусным расстоянием 2000 мм. Различие в значениях отношений размеров ядра и ореола (случай *a*) для инструментов с одинаковым фокусным расстоянием может говорить о разной степени дрожания в пунктах наблюдений. Для обоснования этих утверждений необходимо провести более тщательные исследования.

Таким образом, величина радиуса, примерно равного  $2''$ , является границей рабочего поля для большинства астрографов, принимающих участие в работе по программе ФОН.

Автор выражает благодарность всем наблюдателям и измерителям, принявшим непосредственное участие в подготовке данной статьи.

1. Колчинский И. Г., Онегина А. Б. План фотографирования неба на широкоугольных астрографах.— Астрометрия и астрофизика, 1977, вып. 33, с. 11—16.