

УДК 520.16

## О причине расхождения астроклиматического прогноза и реального качества изображения в крупных телескопах

С. Б. Новиков

Расхождение астроклиматического прогноза и реального качества изображения в крупных телескопах большинства действующих обсерваторий объясняется прежде всего несовершенством температурного режима внутри и снаружи башни. Применение метода оптических передаточных функций дает количественную оценку влияния башни на размер изображения звезды в телескопе. Обсуждаются активные методы уменьшения влияния башни, позволяющие приблизить реальные изображения в телескопе к астроклиматическому прогнозу.

*ON THE CAUSE OF DISCREPANCY BETWEEN PROGNOSIS OF SEEING IN SITE TESTING AND REAL SEEING IN LARGE TELESCOPE, by Novikov S. B.*— In the most of acting observatories the discrepancy between the predicted and real seeing in a large telescope is explained mainly by the imperfect temperature regime inside and outside the dome. The method of optical transfer function provides a quantitative estimate of the dome's influence on the real telescope seeing. Active methods for decreasing the dome effects are discussed.

Эффективность крупного оптического телескопа зависит от качества изображения в той же степени, как и от диаметра главного зеркала. Стоимость телескопов растет пропорционально диаметру с показателем степени 2,7, поэтому даже 10 %-ное улучшение среднего разрешения, эквивалентное 10 %-ному увеличению диаметра главного зеркала, заслуживает серьезных научных и организационных усилий [12].

Можно выделить три основных фактора, определяющих качество изображения в телескопе: 1) астроклимат места установки, который должен быть тщательно исследован до принятия решения о строительстве обсерватории; 2) астроклимат подкупольного пространства и окружающего башню воздушного пространства; 3) совершенство оптико-механического тракта.

Рассмотрим влияние этих факторов на качество изображения на примере 1-м телескопа Цейса Института физики АН ЛитССР, установленного на горе Майданак, а также на примере других телескопов, для которых имеются опубликованные данные астроклиматического прогноза и статистика изображений при выполнении астроклиматических программ.

Астроклиматический прогноз для горы Майданак, полученный с помощью визуальных измерений дрожания звезды на двухлучевом приборе, показал, что среднее атмосферное качество изображения, приведенное к диаметру изображения звезды в крупном телескопе, составляет  $\text{FWHM} = 0.7''$  [7]. Позднее этот прогноз подтвержден с помощью фотоэлектрических измерений атмосферного дрожания на приборе ФРАД [6].

В течение 1982—1984 гг. лаборатория астроприборостроения ГАИШ проводила исследование и юстировку оптики и оптимизацию температурного режима подкупольного пространства 1-м телескопа Цейса [3, 10]. С 1984 г. начаты фотографические наблюдения в фокусе Ричи — Кретьена по астрономическим программам. К настоящему времени накопилось около 500 негативов, полученных с экспозициями от 10 мин до 4 ч. Для оценки качества изображения на этих негативах с помощью

микроскопа измерены визуальные диаметры слабых звезд, которые с достаточной для нашего случая степенью точности (примерно 20 %) соответствуют значению FWHM. Результаты измерения негативов представлены в табл. 1. Среднее качество изображения на 1-м телескопе Цейса составляет  $\text{FWHM} = 1.4''$ , что в два раза хуже астроклиматического прогноза. Подобное расхождение между астроклиматическим прогнозом и реальными изображениями звезд в крупных телескопах

Таблица 1. Качество изображения по прямым снимкам, полученным на 1-м телескопе Цейса на горе Майдаанак в 1984—1987 гг.

Наблюдатель	Количество негативов	FWHM	Количество негативов с $\text{FWHM} \leq 1''$ (в %)
Бруевич В.В.	41	1.13''	39
Кравцов В.В.	112	1.27	32
Новиков С.В.	183	1.45	22
Шульга В.В.	156	1.45	10
Среднее	492	1.38	22

наблюдается и в других обсерваториях. Для сравнения в табл. 2 представлены гистограммы астроклиматического прогноза и качества изображения в телескопах некоторых отечественных и зарубежных обсерваторий.

Исследования астроклимата башни телескопа АЗТ-11 Абастуманской астрофизической обсерватории АН ГССР [11] позволили нам в 1976 г. установить три основных источника ухудшения разрешения в башнях существующих телескопов: 1) активные источники тепла в подкупольном пространстве (управляющая электронная аппаратура, электромеханические устройства и др.); 2) радиационное остывание наружной поверхности купола и открытых частей телескопа; 3) тепловая инерция массивных частей телескопа и подкупольного пространства.

На основании этих исследований нами предложены активные методы компенсации основных источников оптических помех снаружи и внутри купола телескопа [1, 8]. Подобные работы по оптимизации температурного режима подкупольного пространства проведены в начале 1980-х годов в некоторых зарубежных обсерваториях. Наиболее впечатляющие успехи достигнуты на 3.6-м телескопе обсерватории Мауна-Кеа, где за четыре года работы по совершенствованию астроклимата башни удалось улучшить среднее качество изображения в два раза, т. е. вдвое повысить эффективность инструмента. Расин [15], руководящий этими исследованиями, надеется, что после устранения более тонких температурных эффектов в подкупольном пространстве удастся среднее изображение в этом телескопе приблизить вплотную к астроклиматическому прогнозу.

Большая программа исследований по астроклимату башни осуществлена на 4.2-м телескопе ММТ обсерватории Маунт-Хопкинс [12]. В настоящее время этот телескоп по эффективности соизмерим с 3.6-м телескопом обсерватории Мауна-Кеа.

Следует особо отметить немаловажный факт, что в обсерваториях, где имеются башни телескопов разной высоты, качество изображения в телескопе, установленном в более высокой башне, всегда в среднем лучше. Это отмечают наблюдатели обсерваторий Маунт-Паломар [5], Крымской [2] и Мауна-Кеа [13].

Применение метода оптических передаточных функций для описания оптического тракта атмосфера — телескоп — приемник позволяет

количественно оценить вклад каждого участка тракта в общую передаточную функцию системы [9]. Наши оценки показывают, что различие между астроклиматическим прогнозом для горы Майданак и средним качеством изображения на прямых снимках, полученных на 1-м телескопе Цейса, объясняются несовершенством следующих участков оптического тракта: 1) абберации оптики, исследованные методом Гартмана,  $\text{FWHM} = 0.6''$ ; 2) на телескопе отсутствует система термокомпен-

Таблица 2. Гистограммы астроклиматического прогноза и реальных изображений в телескопах некоторых отечественных и зарубежных обсерваторий

Обсерватория	Прогноз, телескоп	FWHM, %			FWHM	Количество оценок	Литературный источник
		$\leq 1''$	$\leq 1.5''$	$\leq 2''$			
Мауна-Кеа	SM	—	—	—	0.4—0.6"		[14]
	CFHT, 3.6-м	31	77	91	1.1	578	[13]
Маунт-Хопкинс	ММТ, 4.2-м	—	—	—	1.2	—	[12]
Гора Майданак	ДЛП	84	96	99	0.7	218	[7]
	Цейс, 1-м	22	68	92	1.4	492	Табл. 1
Специальная астрофиз. обсерватория АН СССР	ДЛП	40	65	88	1.2	212	[7]
	БТА, 6-м	9	—	37	3.6	1100	[4]
Крым. астрофиз. обсерватория АН СССР	ДЛП	10	30	54	2.2	396	[7]
	ЗТШ, 2.6-м	4.5	28	50	2.7	278	[2]

сации радиационного остывания купола; 3) купол 1-м телескопа Цейса одиночный, плохо предохраняет инструмент днем от нагрева солнечной радиацией. Перепад температуры день — ночь в подкупольном пространстве превышает  $20^\circ\text{C}$ , тогда как в метеобудке на высоте 2 м от поверхности почвы этот перепад в среднем для горы Майданак равен  $4.3^\circ\text{C}$ ; 4) пересечение осей 1-м телескопа Цейса находится на высоте 4 м от поверхности почвы, и поэтому на качество изображения сильное влияние оказывает приземный слой.

Суммарное воздействие этих четырех факторов ухудшает в среднем реальное разрешение в два раза по сравнению с астроклиматическим прогнозом.

В проекте башни 1.5-м телескопа АЗТ-22, строящегося на горе Майданак, впервые предусмотрены все необходимые меры для создания оптимального терморезима башни [8]:

1. Система активной термокомпенсации радиационного остывания купола в течение ночи;

2. Мощная система вентиляции, предназначенная для создания в подкупольном пространстве в течение ночи температуры воздуха, соответствующей окружающей свободной атмосфере;

3. Пересечение осей телескопа АЗТ-22 находится на отметке 17.5 м, что позволит исключить влияние приземного слоя на качество изображения;

4. Купол телескопа АЗТ-22 двойной, со специальной системой вентиляции и охлаждения, предназначенной удерживать в течение дня в подкупольном пространстве ночную температуру воздуха с точностью примерно  $1^\circ\text{C}$ .

Оптика телескопа АЗТ-22 по техническому заданию должна концентрировать 75 % энергии звезды в кружке диаметром  $0.3''$ , поэтому мы надеемся на этом инструменте получить среднее качество изображения, близкое к астроклиматическому прогнозу.

Таким образом, основной причиной расхождения астроклиматического прогноза и среднего качества изображения в существующих телескопах, на наш взгляд, является несовершенство температурного режима башни. Применение активных методов компенсации радиацион-

ного остывания башни и телескопа, термоизоляция и вентиляция искусственных источников тепла в подкупольном пространстве и другие подобные меры позволят значительно улучшить качество изображения на существующих и будущих телескопах и приблизить его к астроклиматическому прогнозу.

1. А. с. 685779 СССР, МҚИ<sup>2</sup> Е 04 В 1/74, 7/16. Способ улучшения астроклиматических условий работы телескопа / С. Б. Новиков, А. А. Овчинников, В. С. Поляк, Ю. Б. Синкевич.— Оpubл. 15.09.79, Бюл. № 34.
2. Гершберг Р. Е., Проник В. И., Дибай Э. А. Астроклиматические условия в Крыму по наблюдениям на разных телескопах Крымской астрофизической обсерватории и Южной станции ГАИШ // Астрон. циркуляр.— 1972.— № 729.— С. 1—5.
3. Дудинов В. Н., Новиков С. Б., Шульга В. В. О методе юстировки каскадного телескопа // Там же.— 1984.— № 1307.— С. 4—6.
4. Ерохин В. Н., Пляскин С. П. Оценка вероятности ясного неба и качество звездных изображений для БТА // Астрофиз. исслед. Изв. Спец. астрофиз. обсерватории АН СССР.— 1983.—17.— С. 40—46.
5. Мейнел А. Б. Качество астрономического изображения и выбор места для обсерватории // Телескопы / Под ред. Г. Койпера, Б. Миддлхерст.— М.: Изд-во иностр. лит., 1963.— С. 196—221.
6. Новиков С. Б. Результаты исследования астроклимата фотоэлектрическим методом на горе Майданак // Методы повышения эффективности оптических телескопов.— М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987.— С. 28—32.
7. Новиков С. Б. Результаты исследования астроклимата с помощью двухлучевого прибора // Там же.— С. 33—38.
8. Новиков С. Б., Овчинников А. А. О температурном режиме башни телескопа АЗТ-22 // Астроклимат и эффективность телескопов.— Л.: Наука, 1984.— С. 177—179.
9. Новиков С. Б., Овчинников А. А. Предельные возможности получения высокого углового разрешения классическими методами с помощью наземного полноапертурного телескопа // Методы повышения эффективности оптических телескопов.— М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987.— С. 8—15.
10. Новиков С. Б., Овчинников А. А., Шульга В. В. Результаты исследования оптимального режима вентиляции башни и трубы телескопа Цейс-1000 на горе Майданак // Там же.— С. 69—72.
11. Салуквадзе Г. Н., Новиков С. Б., Овчинников А. А. Влияние башни телескопа АЗТ-11 на качество изображения // Новая техника в астрономии.— Л.: Наука, 1979.— С. 197—201.
12. Beckers J. M., Williams J. T. Seeing experiments with the Multi Mirror Telescope // Multi Mirror Telescope: Techn. Rept N 12.— Tucson, 1982.— P. 7—12.
13. Bely R.-Y. Weather and seeing on Mauna Kea // Pubs Astron. Soc. Pacif.— 1987.— 99, N 616.— P. 560—570.
14. Merrill K. M., Forbes F. F. Comparison study of astronomical site quality of Maunt Graham and Mauna Kea // National New Technical Telescope: Techn. Rept N 10.— Tucson, 1987.— P. 1—32.
15. Racine R. Astronomical seeing at Mauna Kea and in particular at the CFHT // Proc. IAU Colloq. N 79.— Garching, 1984.— P. 235—243.

Гос. астрон. ин-т им. П. К. Штернберга,  
Москва

Поступила в редакцию 04.05.88,  
после доработки 02.08.88