

Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 120, № 4, 56–61 (2024)

УДК 523.985.3

О качестве изображений солнечных пятен по данным наблюдений на БСТ-2 КрАО

Н.И. Штерцер, Ю.Т. Цап, З.С. Ахтемов

ФГБУН “Крымская астрофизическая обсерватория РАН”, Научный, 298409, Крым
yur_crao@mail.ru

Поступила в редакцию 23 октября 2024 г.

Аннотация. Проведен статистический анализ качества изображений солнечных пятен по пятибалльной шкале в период максимума 20–25 циклов солнечной активности на основе архивных данных, полученных на БСТ-1 и БСТ-2 КрАО с апреля по сентябрь 1969–2023 гг. Проанализировано 747 дней наблюдений с учетом профилактических работ, связанных с алюминированием зеркал телескопа. Показано, что оценки качества изображений разными наблюдателями хорошо согласуются между собой. Для изображений с оценкой выше 3 баллов (275 дней наблюдений) получены свидетельства, указывающие на ухудшение качества изображений начиная с 1979 г. Обосновывается необходимость своевременного проведения ремонтных и регламентных работ на БСТ-2 КрАО.

Ключевые слова: Солнце, наблюдения, магнитные поля, качество изображений

1 Введение

Солнечные пятна тесно связаны с активностью Солнца, которое определяет космическую погоду и оказывает существенное влияние на техносферу и биосферу Земли. Вследствие этого нет ничего удивительного, что измерению магнитных полей пятен на поверхности Солнца уделялось и уделяется большое внимание, начиная с первых спектральных визуальных измерений Хейла в 1908 г. в обсерватории Mount Wilson. В 1942 г. были также начаты регулярные спектральные фотографические измерения максимальных магнитных полей пятен и пор в Потсдамской обсерватории (в архиве КрАО хранятся данные за 1958, 1964, 1965–1967 гг.). Хотя точность наблюдений магнитных полей пятен при полном расщеплении зеемановских компонент линии может достигать ± 50 Гс (Северный, Степанов, 1956), тем не менее сравнение одних и тех же пятен, определенных в обсерватории Mount Wilson и Потсдаме, свидетельствовало о наличии довольно больших случайных и систематических ошибок. Максимальные значения напряженности, определяемые на этих обсерваториях, могли отличаться более чем в три раза (Северный, Степанов, 1956).

Для директора Симеизской обсерватории академика Г.А. Шайна большие расхождения в измерениях послужили одним из веских доводов в пользу необходимости строительства новой обсерватории в Крыму, которая бы отвечала всем необходимым требованиям. Неустойчивый режим атмосферы, создаваемый на Южном берегу непосредственной близостью гор и моря, приводил к существенному ухудшению качества изображений при проведении фотометрических и спектральных наблюдений астрофизических объектов.

В 1943–1944 гг. во время Великой Отечественной войны Симеизская обсерватория была разграблена и разрушена. История Симеизской обсерватории закончилась как физически, так и юридически. П.П. Добронравин подробно описал этот период в своих воспоминаниях (Добронравин, 1998). Нужно было строить самостоятельную Крымскую астрофизическую обсерваторию.

В 1944 г. было организовано несколько экспедиций по выбору места для новой обсерватории в Крыму, местоположение которой отвечало бы всем необходимым требованиям. Проводились измерения дрожания края солнечного диска при помощи специальной шкалы, помещенной в окуляр, а также измерения запыленности атмосферы; учитывалась протяженность и яркость околосолнечного ореола с помощью фотоэлектрического фотометра системы акад. Фесенкова. Принималась во

внимание не только влажность воздуха, которая измерялась психрометром, но и скорость ветра, определяемая при помощи анемометра или визуально по шкале Бофорта. Учитывались характер, а также количественная оценка облачности и осадков. Была исследована разница результатов измерений, полученных разными наблюдателями на одном и том же инструменте. Изучалась возможность резких перепадов температуры (Газе, 1948).

Проведенные в ходе экспедиции А.Б. Северным и О.А. Мельниковым наблюдения близ селения Мангуш (Партизановка), теперь это село Прохладное Бахчисарайского района, свидетельствовали о преимуществе качества дневных изображений по сравнению с другими местами Крыма, включая Симеиз. На это указывали в первую очередь измерения дрожания края солнечного диска рефрактором при помощи окуляра, а также видимость на экране мельчайших деталей на диске Солнца (пятна, факелы, флоккулы, грануляция).

30 июня 1945 г. Совет Народных Комиссаров СССР и Академия наук СССР принимают решение о создании КрАО, обязав Совнарком Крымской АССР установить в целях сохранения хороших астрономических условий защитную зону радиусом 3 км. Вокруг обсерватории запрещалось проведение крупного строительства, а всякое иное строительство – лишь по согласованию с Президиумом АН СССР. Через полвека, 2 октября 1997 г., в связи с распадом СССР аналогичное решение принял Верховный совет АР Крым, запретив новое строительство в этой зоне без заключения межведомственной комиссии Совета министров АР Крым.

Несмотря на принятые меры по сохранению астроклимата и важность непрерывного мониторинга качества изображений Солнца, начиная с 1944 г. какие-либо исследования этой проблемы не проводились. Цель настоящей работы – попытаться проанализировать на основе единой методики динамику качества изображений солнечных пятен за последние 50 лет по данным БСТ-1 и БСТ-2 КрАО.

2 Методика и обработка наблюдений максимальных напряженностей магнитного поля солнечных пятен

Башенный солнечный телескоп БСТ-2 был создан в начале 70-х годов прошлого века на базе механических элементов БСТ-1 (Северный, 1955), который в тот период находился в процессе реконструкции. В мастерских КрАО для него изготовили новую ситалловую оптику. Телескоп предназначался для спектральных и монохроматических наблюдений Солнца.

Главное зеркало БСТ-2 диаметром 450 мм с фокусным расстоянием 12 м, а также система Кассегрена позволяют получить на щели спектрографа изображение Солнца размером до 300 мм. Спектрограф оснащен двумя решетками и камерами, что дает возможность регистрировать спектры разной дисперсии. В настоящее время на телескопе проводятся не только ежедневные измерения максимальных напряженностей магнитных полей солнечных пятен, но и получают изображения Солнца в линии HeI 1083 нм.

Н.Н. Степанян в своей монографии (Степанян, 1992) подробно описала метод измерений максимальных напряженностей магнитных полей солнечных пятен. Регулярные измерения проводятся на БСТ-2 визуально по линии поглощения FeI λ 6302.5 Å в четвертом порядке спектра с дисперсией ≈ 0.36 Å/мм. Линия является простым триплетом Зеемана с большим магнитным расщеплением (фактор Ланде $g = 2.5$).

Перед щелью спектрографа устанавливается поляризационная насадка, состоящая из поляроидной мозаики и пластинки $\lambda/4$. Угол между осями поляроидной мозаики и пластинки $\lambda/4$ должен быть равен 45° , поэтому при выравнивании яркости в полосках разной поляризации необходимо поворачивать всю насадку. В кассетной части спектрографа в фокальной плоскости камерного зеркала устанавливается плоскопараллельная пластинка (лайншифтер), что позволяет определить угол ее поворота. Измерение величины магнитного поля производится путем совмещения σ_l - и σ_r -компонент, расположенных в соседних полосках, поворотом лайншифтера.

Чтобы перевести величины угла поворота лайншифтера в напряженности магнитных полей, последний калибруется. Полярность магнитного поля определяется по появлению правой или левой σ -компоненты в реперной (или идентичной ей) полоске поляроидной мозаики.

Качество изображения пятен зависит от дрожания края диска Солнца, контраста и замывания, что оказывает существенное влияние на точность наблюдаемых значений магнитного поля. Оценка качества проводится по пятибалльной шкале (см. табл. 1).

Таблица 1. Критерии оценки качества изображений на БСТ-2 по пятибалльной шкале

Оценка	Качество изображений
1	Очень плохое (полутень не видна)
2	Плохое (полутень видна, но структура полутени не видна)
3	Среднее (структура полутени видна, но грануляция не видна)
4	Хорошее (грануляция выше порога видимости)
5	Исключительное (грануляция видна, край Солнца стабильный)

3 Результаты статистического анализа

При проведении анализа мы воспользовались архивными данными наблюдений максимальных напряженностей магнитного поля солнечных пятен на БСТ-2 с 1979 по 2023 г., а также данными, полученными на БСТ-1 в 1969 г. по той же методике и в той же линии (Степанян, 1992). Учитывались оценки качества изображений, полученные с апреля по сентябрь в годы максимумов циклов 20–25. Это объясняется наиболее благоприятными условиями для проведения наблюдений Солнца, а также стремлением авторов максимально увеличить выборку однородных данных. В табл. 2 первая колонка указывает год наблюдений; вторая колонка – полное число дней наблюдений за сезон N_s ; третья колонка – число дней наблюдений $N_{j>3}$ с оценкой качества изображений $j > 3$.

Таблица 2. Число дней наблюдений в период максимумов солнечных циклов 20–25

Год	Полн. число дней набл. за сезон N_s	Число дней набл. $N_{j>3}$
1969	121	39
1979	117	66
1989	130	62
2001	124	48
2011	144	28
2023	111	32

Из проанализированных 747 дней наблюдений было выбрано 275 с оценкой $j > 3$. Для получения нормированного показателя качества изображений за сезон находилось суммарное число дней наблюдений $N_{j>3}$ с оценкой $j = 3.5, 4, 4.5, 5$, которые нормировались на N_s . Сразу отметим, что при проведении расчетов мы принимали оценки 3+, 4– и 4+, 5– соответственно равными 3.5 и 4.5. Таким образом, расчет проводился по формуле

$$\langle N_{j>3} \rangle = k \frac{N_{j>3}}{N_s},$$

где нормирующий коэффициент $k = 10$ использовался для большего удобства представлений результатов в виде гистограммы. Отметим, что, на наш взгляд, нормированный показатель качества изображений в днях лучше, чем значения оценок, отражает динамику изменений в свете статистических закономерностей, поскольку он соответствует вероятности положительного события, т. е. имеет ясный математический смысл.

Как видно из рис. 1, начиная с 1979 г. нормированный показатель качества изображений ухудшался. Резкое его падение с 2001 по 2011 г. мы связываем с несвоевременным проведением регламентных работ. Лишь после алюминирования зеркал в 2015 и 2019 гг. значение показателя $\langle N_{j>3} \rangle$ существенно выросло и стало сопоставимо по величине с показателем 1969 г.

Мы также сравнили оценки качества изображений разными наблюдателями в 2023 г. Исследуемый период включал 111 дней наблюдений с соответствующими оценками качества изображений

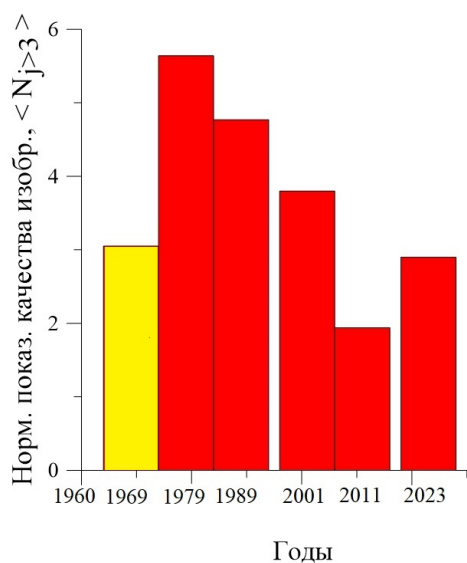


Рис. 1. Изменения нормированного показателя качества изображений $\langle N_{j>3} \rangle$ за период с 1969 по 2023 г. Желтый цвет соответствует результатам оценок, полученным на БСТ-1

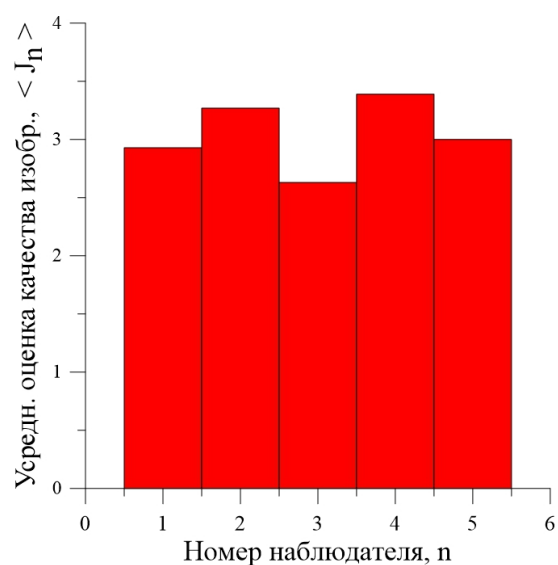


Рис. 2. Зависимость усредненной оценки качества изображений $\langle J_n \rangle$ от номера наблюдателя n за апрель – сентябрь 2023 г.

разными наблюдателями, каждому из которых присваивался номер n (табл. 3). В таблице представлено количество дней наблюдений N_n , суммарная (J_n) и усредненная ($\langle J_n \rangle$) оценки качества изображений для разных наблюдателей n за период с апреля по сентябрь 2023 г. Для нахождения

Таблица 3. Количество дней наблюдений и оценки качества изображений для разных наблюдателей за апрель – сентябрь 2023 г.

Номер набл. n	Кол-во дней набл. N_n	Сум. оценка за сезон J_n	Усредн. оценка $\langle J_n \rangle$
1	22	64.5	2.93
2	22	72.0	3.27
3	19	50.0	2.63
4	33	112.0	3.39
5	15	45.0	3.00

усредненной оценки наблюдателя $\langle J_n \rangle$ мы сначала суммировали все оценки, полученные наблюдателем n за сезон (апрель – сентябрь), независимо от значения j . Затем мы разделили полученную сумму J_n на соответствующее число дней наблюдений N_n , т. е.

$$\langle J_n \rangle = \frac{J_n}{N_n}.$$

Как видно из рис. 2, несмотря на малое число дней наблюдений, приходящееся на одного наблюдателя в 2023 г., усредненные оценки $\langle J_n \rangle$ достаточно хорошо согласуются между собой. Это свидетельствует не только об ответственном отношении наблюдателей к измерениям, но и о правомерности используемого нами статистического подхода.

4 Заключение

Сформулируем основные выводы работы:

1. Качество солнечных изображений за период с 1969 по 2023 г. имеет тенденцию к ухудшению, однако начиная с 1979 г. качество изображений остается сравнительно высоким (на уровне 1969 г.).
2. Оценки качества изображений разными наблюдателями в 2023 г. хорошо согласуются между собой.
3. Для получения качественных изображений необходимо своевременно проводить ремонтные и регламентные работы, включая в первую очередь алюминирование зеркал телескопа не реже одного раза в пять лет.

В заключение хотелось бы подчеркнуть, что оценки качества изображений, полученных в 1969 г., требуют осторожного отношения, поскольку измерения проводились на БСТ-1, оснащенный в то время другим главным зеркалом диаметром 400 мм.

Благодарности. Авторы выражают благодарность О.С. Гопасюк за обсуждение работы и оказанную поддержку, а также рецензенту за внимательное прочтение работы и сделанные замечания, которые в немалой степени способствовали ее улучшению. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ, ГЗ № 122022400224-7.

Литература

- Газе В.Ф., 1948. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв., Т. 3, С. 99–108.
Добронравин П.П., 1998. Изв. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв., Т. 94, С. 9–13.
Северный А.Б. 1955. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв., Т. 15, С. 31–53.
Северный А.Б., Степанов В.Е., 1956. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв., Т. 16, С. 3–11.
Степанян Н.Н., 1992. Наблюдаем Солнце. М.: Наука.

Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ. 120, № 4, 56–61 (2024)

On the quality of sunspot images on the CrAO STT-2 observations

N.I. Shtertser, Yu.T. Tsap, Z.S. Akhtemov

Crimean Astrophysical Observatory, Nauchny 298409
yur_crao@mail.ru

Abstract. We perform a statistical analysis of the quality of sunspot images on a five-point scale obtained during the maximum of cycles 20–25 from April to September 1969–2023. In total, 747 observation days were analyzed taking into account scheduled maintenance works associated with aluminizing the telescope mirrors. The image quality estimates by different observers are shown to be in good agreement. For images estimated by more than three points (275 observation days), it was obtained evidence in favor of a deterioration in the quality of images since 1979. We give reasons for the necessity of conducting timely repair and routine works at CrAO STT-2.

Key words: Sun, observations, magnetic fields, image quality