

УДК 522.56

Опыт наблюдений солнечной активности в хромосферной линии H_{α} на коронографе КГ-1 НИИ “КрАО” цифровыми фотокамерами

А.Н. Шаховская, З.С. Ахтемов

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный
anshakh@yandex.ru, azis@crao.crimea.ua

Поступила в редакцию 20 февраля 2012 г.

Аннотация. Описан опыт применения цифровых фотокамер Sony DSC-75 и Canon EOS 1000D при наблюдении активных образований на Солнце на телескопе КГ-1 НИИ “КрАО” в линии H_{α} .

THE EXPERIENCE OF OBSERVATIONS OF SOLAR ACTIVITY IN THE CHROMOSPHERIC LINE H_{α} WITH DIGITAL PHOTOCAMERAS AT THE CORONAGRAPH KG-1 OF THE RESEARCH INSTITUTE “CrAO”, by *A.N. Shakhovskaya, Z.S. Akhmetov*. We have described the experience of using digital cameras Sony DSC-75 and Canon EOS 1000D for the observation of active formations on the Sun in the H_{α} line with the telescope KG-1 of the Crimean Astrophysical Observatory.

Ключевые слова: телескоп, хромосфера, Солнце

1 Введение

Коронограф КГ-1 – один из самых старых телескопов в НИИ “КрАО”, первые наблюдения Солнца на нем начались еще в 1949 г. (Северный, Шапошникова, 1954). Оптическая схема телескопа в принципе совпадает со схемой Лио, однако позже в эту схему были внесены некоторые существенные изменения для уменьшения влияния рассеянного света и более правильного использования интерференционно-поляризационного фильтра для исследований диска Солнца в монохроматических лучах.

В начале 1970-х гг. под руководством А.Н. Бабина (Бабин, 1974) проведена модернизация телескопа: установлен новый объектив диаметром 21 см, появилась возможность наблюдать в двух режимах: большое Солнце и малое (диаметр Солнца 120 мм и 50 мм соответственно). Модернизованная схема большого Солнца показана на рис. 1а. Таким образом, было достигнуто теоретическое разрешение телескопа $0.8''$. Примерно в то же время на КГ-1 был установлен новый H_{α} -фильтр системы Halle с полосой пропускания 0.5 \AA и 1 \AA , причем допускался сдвиг в крылья до 1 \AA . И так, к середине 1970-х гг. телескоп КГ-1 использовался для хромосферных наблюдений в линии H_{α} с высоким угловым, временным и спектральным разрешением с регистрацией на киноплёнке. Ставились задачи по изучению тонкой структуры и динамики вспышек, активных областей, волокон и т. д. В таком виде, без принципиальных изменений, телескоп продолжал работать до 2002 года. За это время накопился большой кинематографический архив.

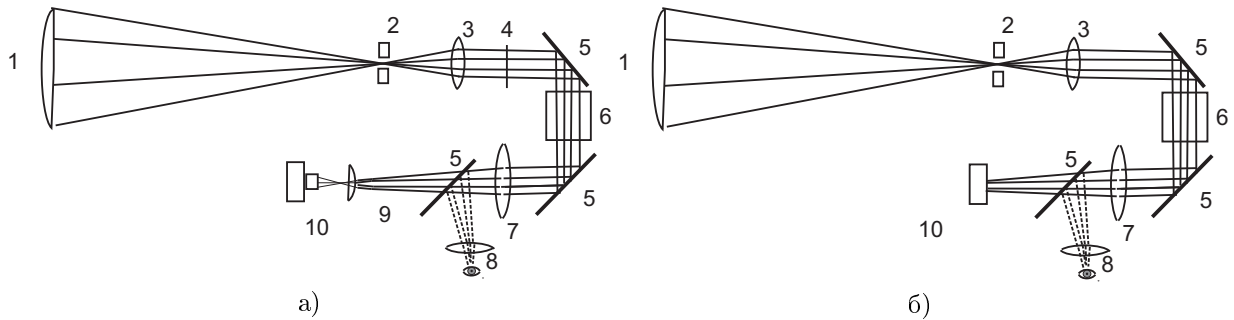


Рис. 1. а) Оптическая схема телескопа для камеры SONY DSC-75: 1. Главный объектив диаметром 21 мм. 2. Сменная диафрагма. 3. Объектив. 4. Фильтр, обрезающий инфракрасную область спектра из СЗС-15 (добавлен для наблюдений с данной камерой). 5. Диагональные зеркала. 6. Интерференционно-поляризационный фильтр системы Hale с полосой пропускания 0.5–1 Å. 7. Объектив. 8. Окуляр. 9. Дополнительная линза поля (добавлена для наблюдений с данной камерой). 10. Камера SONY DSC-75.
 б) Оптическая схема телескопа для камеры Canon EOS 1000D (10). Мы вернулись к старой оптической схеме, обозначения те же, что и на рис. 1а

Но уже к концу 1990-х гг. телескоп перестал удовлетворять современным требованиям. Хотя оптические характеристики по-прежнему оставались достаточно высокими, имелся существенный недостаток – это регистрация изображения на фотопленку. Во всем мире стали переходить на наблюдения с помощью ПЗС-матриц, что давало ряд известных преимуществ:

1. Оперативность. При наблюдении с пленкой, чтобы получить цифровое изображение, необходимо: проявить пленку, высушить ее, просканировать микрофотометром. Для первых двух операций нужно, как правило, двое суток, а для последней – около двух часов на кадр. При наблюдении с ПЗС-матрицами в мире реализовались наблюдения в режиме on-line, т. е. через 5 минут после наблюдения данные выставлялись в Интернет. Последнее чрезвычайно важно, т. к. при наблюдении в одной спектральной линии невозможно представить полную физическую картину событий на Солнце, а сравнивая результаты различных наблюдений в Интернете, можно своевременно включать наблюдательные программы (например, для наблюдения вспышек).
2. Более низкий уровень шума. Каждая из операций с пленками, описанная в пункте 1, вносит свой шум в данные и к ним добавляется качество самой пленки, причем для разных пленок и даже для разных кадров дефекты могут быть различны, и это обнаруживается только спустя несколько дней.
3. Более широкий динамический диапазон. Динамический диапазон пленок зависит от пространственного разрешения, в то время как у современных ПЗС-матриц динамический диапазон от 8 до 16 бит.
4. Более высокая чувствительность. Для наблюдений с пленками экспозиция была от 0.1 до 0.7 секунд, как раз это время характерно для различных турбулентных флуктуаций в атмосфере, так что теоретическое разрешение телескопа могло реализоваться только при исключительных погодных условиях. Современные ПЗС-матрицы в несколько раз более чувствительные.
5. Линейность характеристик. У пленок нелинейные характеристики, которые меняются от условий проявки, времени хранения и многих других причин, и отследить эти изменения не всегда представляется возможным. У ПЗС-матриц все характеристики практически линейны.
6. Хранение данных. При интенсивной работе с пленкой, а также при ее длительном хранении, качество отснятой пленки ухудшается. Цифровое изображение, записанное на лазерных DVD, занимает немного места и может храниться практически вечно.

И в 2001 году встал вопрос о переходе на ПЗС-матрицу. Специальные ПЗС-матрицы необходимого для нас качества стоили около 8 тысяч долларов, такой суммы у нас не было и было принято

другое решение. В то время стали выпускаться цифровые фотокамеры с ПЗС-матрицами немногим по качеству уступающими астрономическим, но значительно более дешевые. Мы решили приспособить такую камеру для наблюдений на нашем телескопе.

2 Наблюдения с камерой Sony DSC-75

Среди множества различных цифровых камер тогда мы остановили свой выбор на Sony DSC-75 по следующим причинам:

1. Достаточно высокое разрешение (максимально 2048×1536).
2. Возможность ручного выбора режимов (экспозиции, фокуса, диафрагмы).
3. Высокая чувствительность (возможен режим ISO 400).
4. Минимальное фокусное расстояние до снимаемых объектов 10 см.
5. Возможность получать данные как в формате JPG (экономичный формат, с незначительной потерей качества изображения, используется для выставления данных в Интернет), так и в формате TIFF (сохраняется высокое качество изображений).
6. 14-битный АЦП. Позволяет уменьшить шум элементов матрицы и на выходе дает 8 бит, очищенные от шумов.
7. Точная хронология кадров. В заголовок каждого файла пишется время съемки с точностью до секунды (для кинокамеры это была большая проблема, если в кадр впечатывались часы, то качество кадра значительно ухудшалось).

Дополнительно мы приобрели карту памяти 64 Мб, что позволяет непрерывно записать 200 кадров в формате JPG или 6 кадров в формате TIFF. Когда перед нами встала задача совместить телескоп с цифровой камерой, мы столкнулись со следующей проблемой – в камере объектив не снимается и требуется согласование оптических систем телескопа и камеры. На рис. 1а изображена новая оптическая схема, перед объективом камеры мы установили линзу поля, диаметр 10 см, фокусное расстояние 12 см, фокус объектива камеры фиксируется в положении 10 см, расстояние между линзой поля и объективом камеры также были подобраны экспериментально, см. рис. 1а.

Камера дает изображение в формате RGB, т. е. 8 бит на каждый цвет: красный, синий, зеленый. Для монохромного изображения в H_{α} полезный сигнал содержится только в красном канале, а в остальных только шум и, выделяя красный канал, мы получаем монохромное 8-битное изображение с более низким уровнем шумов.

За 6 лет использования цифровой камеры Sony DSC-75 выявился ряд существенных ее недостатков.

1. Использование линзы поля дает дополнительную дисторсию.
2. Несмотря на наличие 14-битного АЦП, итоговое изображение получается 8-битное за счет неизвестного преобразования, происходящего внутри камеры с целью увеличения контрастности и уменьшения уровня шумов. Если последнее нас более-менее устраивает, то повышение контрастности по неизвестному алгоритму делает невозможным какую-либо дальнейшую калибровку изображений.
3. Изображение получается в формате TIFF или JPEG, т. е. форматах, использующих сжатие с потерей информации.
4. Чувствительность камеры к ближнему инфракрасному спектру излучения требует установки дополнительных фильтров, что в свою очередь ухудшает качество изображения.

Тем не менее в течение 6 лет на КГ-1 наблюдения проводились, данные выставлялись в Интернете на сайте НИИ “КрАО” (http://solar.crao.crimea.ua/rus/observations.htm#ha_images), эти данные использованы в нескольких публикациях (Шаховская и др., 2006; Шаховская, Лившиц, 2007; Боровик др., 2012).

3 Установка камеры Canon EOS 1000D

К концу 2008 года камера Sony DSC-75 окончательно вышла из строя, и поскольку вопрос о специальной астрономической ПЗС-матрице остался открытым, нам пришлось задуматься о замене камеры с учетом уже накопленного опыта. К новой камере мы предъявляли следующие требования.

1. Съёмный объектив. Это позволило бы убрать линзу поля и вернуться к прежней оптической схеме.
2. Запись данных в формате RAW(CR2). При использовании данных форматов идет запись сигнала с каждого пикселя, а дальнейшая обработка изображений происходит на компьютере с помощью специальных программ.
3. Наличие встроенного фильтра, отсекающего участок ближнего инфракрасного спектра.
4. Достаточно чувствительный фотоприемник, чтобы была возможность снимать с короткими экспозициями (менее 0.1 секунды).

Всем этим качествам, на наш взгляд, отвечала камера Canon EOS 1000D. Это профессиональная зеркальная камера со съёмным объективом, размерами матрицы 22.2×14.8 мм, что достаточно близко к используемой ранее кинокамере (24×18 мм) и позволяет вернуться к прежней оптической схеме. Камеры такого класса используются для фотосъемки любителями астрофотографии, и есть пакет программ для обработки изображений.

Характеристики камеры Canon EOS 1000D:

- матрица
- общее число пикселей 10.5 млн,
- число эффективных пикселей 10.1 млн,
- физический размер 22.2×14.8 ,
- максимальное разрешение 3888×2592 ,
- тип матрицы CMOS,
- чувствительность 100–1600 ISO,
- функция очистки матрицы есть.

4 Конструкторские работы

В 2009 году мы приступили к установке новой камеры. Первоначально перед нами встала задача изготовить посадочное место. Для крепления объектива в таких камерах используется байонет, аналогичное крепление мы использовали и для посадочного места. Оказалось, из-за физических размеров камеры ее оптическую плоскость невозможно установить на то же место, где была оптическая плоскость кинокамеры. Пришлось несколько скорректировать оптическую схему телескопа: на 5 сантиметров передвинуть линзу и удлинить окуляр. Впоследствии для борьбы с интерференцией мы установили на посадочном месте винты, позволяющие регулировать наклон камеры.

5 Методика наблюдений и обработки изображений

Методика наблюдений основных кадров с новой камерой не сильно отличается от методики наблюдений с камерой SONY DSC-75. Если на Солнце нет вспышек и эруптивных протуберанцев, то снимаются активные области с экспозицией, в зависимости от погодных условий, от $1/40$ до $1/100$ секунды. Сначала идет съемка в центре линии H_{α} , потом лайншифтер сдвигается в синее крыло до 1 \AA , с шагом 0.25 \AA , если в активной области происходят или ожидаются вспышки – аналогичным образом производится съемка и в красном крыле. Лимб снимается с экспозицией от $1/5$ до $1/10$ секунды. Съемка вспышек происходит с экспозициями от $1/100$ до $1/250$ секунды. Для обработки

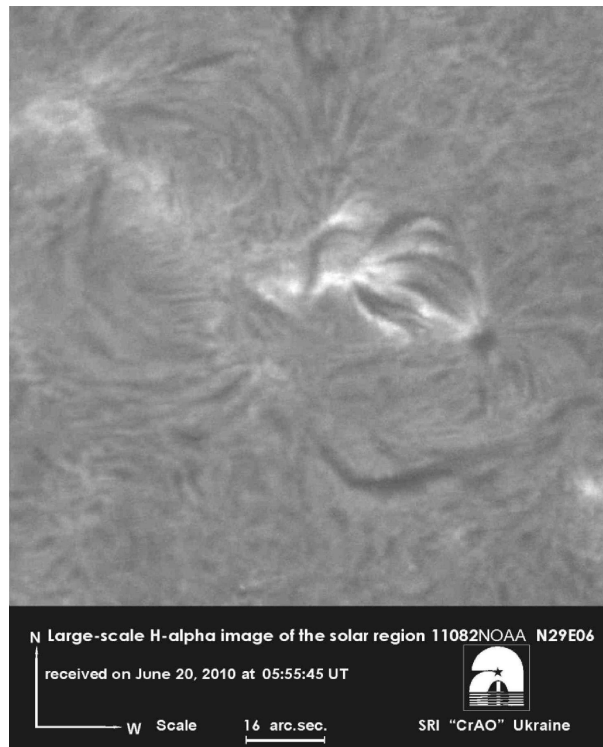


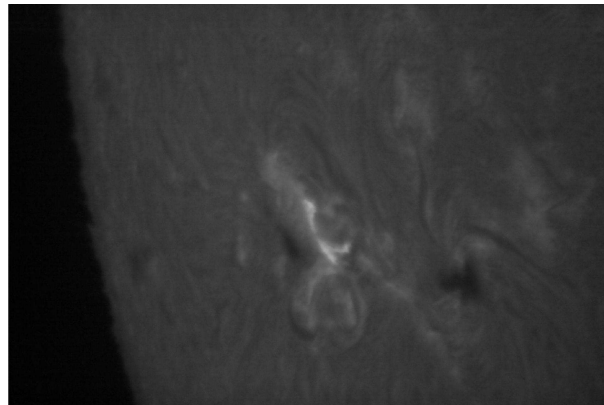
Рис. 2. Пример изображения активной области, полученного с новой камерой, обработанного программой IRIS и выставленного на сайте НИИ “КрАО”, внизу указано время съемки и масштаб. На этом кадре хорошо видны AFS (система хромосферных волоконца), пятна и яркие точки

изображений, полученных новой камерой, мы использовали программу IRIS. Эта программа свободно распространяется в Интернете и широко используется для обработки изображений в любительской астрофотографии (http://www.soft.belastro.net/files/imagehandling/IRIS_manual_rus.pdf).

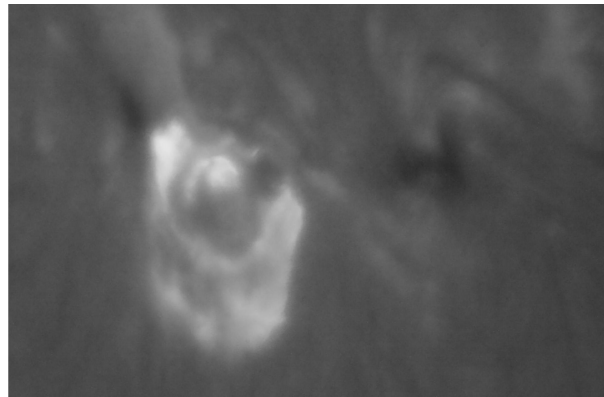
Для дальнейшей обработки изображений требуются калибровочные кадры.

1. Dark – для определения темнового тока, снимаются с той же экспозицией, что и остальные кадры, а зеркало переключается на окуляр.
2. Offset – для определения токов смещения, снимаются с минимальной экспозицией 1/4000 секунды и зеркалом, переключенным на окуляр.
3. Плоские поля – для исправления виньетирования и дефектов оптики, например, от пыли на защитном стекле матрицы. Опытным путем мы определили наиболее подходящие параметры съемки плоских полей. ISO (аналог чувствительности матрицы в пленочном эквиваленте) устанавливается на 100 (для остальных кадров чувствительность максимальна – 1600), экспозиция 0.5–0.6 секунд, лайншифер переводится на 1 Å в синее крыло, на Солнце выбирается участок близко к центру и без активных областей. Во время съемки включаем движение телескопа по α и по β , при этом следим, чтобы активные области или лимб не попадали в кадр.

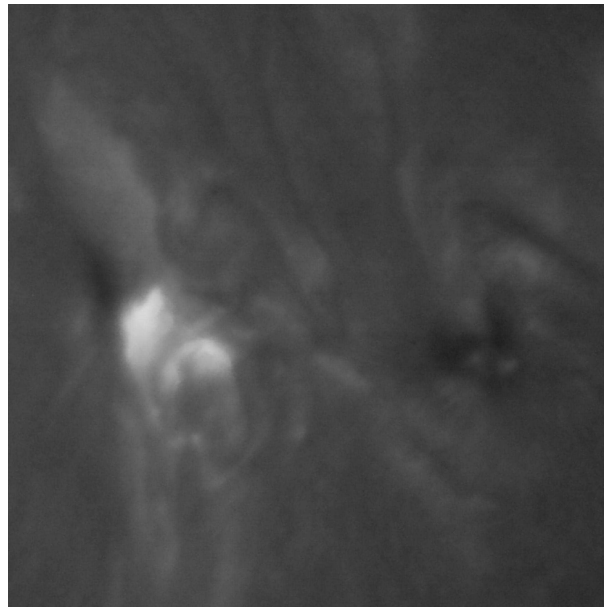
Все калибровочные кадры снимаются на менее 5 раз. Обработка изображений осуществляется уже упомянутой здесь программой IRIS по алгоритмам, описанным в вышеприведенной ссылке.



а)



б)



в)

Рис. 3. а) Начало вспышки в активной области 11303 NOAA в 07:06 UT. б) Дальнейшее развитие этой же вспышки и формирование двух вспышечных лент. Изображение ухудшилось, по сравнению с рис. 3а, из-за атмосферных условий, но тем не менее хорошо видны более и менее яркие части во вспышечных лентах. Время съемки 09:36 UT. в) На фоне яркой вспышки видны темные закрученные хромосферные выбросы. Время съемки 09:40 UT

6 Первые результаты с камерой Canon EOS 1000D

Начало работы с новой камерой пришлось на период глубокого минимума между 23 и 24 циклами солнечной активности. В течение 2009 года мы подбирали экспериментально разные режимы съемки и приспособляли различные узлы телескопа для работы с новой камерой. В 2010 году мы смогли получать изображение хорошего качества, в этот год был 121 день наблюдений, лучшие кадры из них обработаны по новой методике и выставлены на сайте НИИ “КрАО”. С помощью этой методики мы смогли очистить изображение от тепловых шумов, убрать виньетирование и эффекты от загрязнения оптики.

К концу 2010 для нас основной проблемой стала интерференция. Интерференционная картина была существенно различна для разных кадров даже в течение одного дня, и поэтому убрать ее путем обработки не представлялось возможным. Справиться с этой проблемой нам удалось к началу наблюдательного сезона 2011 г., наклонив плоскость матрицы к оптической оси на угол около 2° . В 2011 году глубокий минимум солнечной активности сменился фазой подъема, и мы смогли наблюдать с новой камерой достаточно много вспышек. Самый плодотворный период наблюдений – с 23 по 30 сентября 2011 г. На рисунке 3 а), б) и в) показаны фазы развития самой мощной из вспышек в этот период. Рентгеновский балл этой вспышки X1.8, оптический – 2В. Эти наблюдения еще находятся в стадии дальнейшей обработки, и выводы по ним будут сделаны позже. Пока можно сказать, что новая камера вполне справилась с наблюдениями достаточно ярких и быстрых вспышек, на кадрах достаточно хорошо видна структура хромосферных волоконцев, вспышечных лент с градацией их яркостей, и холодных хромосферных выбросов.

7 Заключение

Таким образом, использование цифровой камеры Canon EOS 1000D для хромосферных наблюдений в H_{α} на коронографе КГ-1 НИИ “КрАО” позволяет получать изображения, по качеству не уступающие, а по многим параметрам и превосходящие изображения, получавшиеся ранее на киноплёнке. Телескоп КГ-1 НИИ “КрАО” с регистрацией изображения на цифровую фотокамеру может с успехом использоваться как для патрульных наблюдений Солнца и выставления этих данных в Интернете, так и для исследования динамики и структуры быстрых событий на диске Солнца и на лимбе.

Благодарности. Авторы благодарят инженера В.И. Лопухина и конструктора А.В. Долгополова за модернизацию телескопа для наблюдений с новой камерой, А.Н. Бабина за рецензию, которая позволила улучшить данную работу, а также Т.М. Стрельник и В.Д. Ковригину за участие в наблюдениях.

Литература

- Бабин А.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1974. Т. 52. С. 79.
Григорьева И.Ю., Шаховская А.Н., Боровик В.Н., Князева И.С., Лившиц М.А., Макаренко Н.Г. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2012. Т. 108 (в печати).
Северный А.Б., Шапошникова Е.Ф. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1954. Т. 12. С. 3.
Шаховская А.Н., Лившиц М.А., Черток И.М. // Астрон. журн. 2006. Т. 83. № 12. С. 1128.
Шаховская А.Н., Лившиц М.А. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2007. Т. 103. № 4. С. 181.