

УДК 523.98

## Телескоп-регистратор корональных выбросов массы SPOT-CME

А.Г. Тлатов<sup>1</sup>, И.А. Березин<sup>1,2</sup>, А.Д. Шрамко<sup>1,2</sup>, Р.Н. Кирпичев<sup>1</sup>, Д.В. Дормидонтов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Горная астрономическая станция ГАО РАН, ул. Гагарина, 100, Кисловодск, 357700, Россия  
tlatov@mail.ru

<sup>2</sup> КалмГУ, ул. Пушкина, 11, Элиста, 358000, Россия

Поступила в редакцию 14 октября 2023 г.

**Аннотация.** Представлен проект нового патрульного солнечного телескопа для непрерывного наблюдения Солнца с интервалом регистрации около одной минуты. Телескоп предназначен для детектирования и определения параметров корональных выбросов массы и солнечных вспышек. Он позволяет наблюдать поля скоростей в солнечной атмосфере и в корональных выбросах. Инструмент выполнен в герметичной однообъемной схеме, может устанавливаться без павильона и работает по принципу телескопа-робота. Телескоп может использоваться в наблюдательной сети Службы Солнца.

**Ключевые слова:** Солнце, наблюдения Солнца, солнечные телескопы

### 1 Введение

Наличие своевременной и надежной космической информации о нашей окружающей среде лежит в основе элементов инфраструктуры, которые имеют решающее значение для современного общества. С экономической и социальной точек зрения надежная информация о состоянии геокосмической среды важна для множества областей применения. Особо можно выделить безотказное использование радиосигналов, обеспечивающих навигацию и связь, и противодействие негативным воздействиям торможения спутников на низкой околоземной орбите в периоды повышенной солнечной активности. Кроме того, частицы больших энергий могут нанести ущерб объектам и людям в космосе, а токи, возникающие в наземных системах, могут нарушить работу и повредить электрические сети. Солнце является основной движущей силой формирования космической погоды (КП) благодаря его воздействию на поверхность Земли и атмосферу на ее нижней границе. Частицы и магнитные поля солнечного ветра формируют магнитосферу и контролируют воздействие на нашу планету галактических, космических и солнечных лучей.

Наибольший прогресс в области исследования КП достигнут в США. В этой стране разработана цельная система наблюдений, анализа и моделирования, обеспечивающая оперативное прогнозирование и выработку рекомендаций. В США официальным национальным источником предупреждений о состоянии КП является Space Weather Prediction Center (SWPC) в Боулдере, штат Колорадо. SWPC является одним из девяти национальных центров прогнозирования окружающей среды National Centers for Environmental Prediction (NCEP) национальной метеорологической службы (NOAA) и ежедневно координирует свою деятельность, продукты и услуги с коллегами из 557-го метеорологического крыла Министерства обороны, расположенного на базе ВВС Оффатт в Белвью, штат Небраска.

SWPC предоставляет широкий спектр продуктов и услуг, охватывающих космические погодные условия на Солнце, в межпланетном пространстве и на Земле, которые постоянно обновляются и отображаются на интернет-сайте SWPC. Информация представлена как в текстовом, так и в графическом виде с использованием шкал КП NOAA для геомагнитных бурь, солнечных радиационных бурь и радиоотключений, а также других индексов и параметров. Основные средства распространения продуктов включают службу подписки на продукты по электронной почте с более

чем 58 000 подписчиков. SWPC также обеспечивает доступ к множеству измерений КП в режиме реального времени, которые используются непосредственно конечными пользователями или поставщиками коммерческих услуг для создания продуктов с добавленной стоимостью для конечных пользователей.

Основными компонентами в системе прогнозирования КП являются оценка высокоскоростных потоков солнечного ветра и прогноз геоэффективности корональных выбросов массы (КВМ). КВМ – это обширные выбросы намагниченной плазмы из короны Солнца, которые являются одним из главных факторов формирования сильных геомагнитных возмущений. КВМ развиваются как в активных областях Солнца, например во время солнечных вспышек, так и вне активных областей, например при эрупции спокойных волокон. Процесс выброса вещества занимает интервал от нескольких десятков минут до нескольких часов. Поэтому для детектирования КВМ и определения их параметров необходимы непрерывные круглосуточные наблюдения со скважностью не хуже 5–15 минут.

В нашей стране предстоит создание службы прогнозирования КП, опирающейся на собственные наблюдения. В этой работе на основе опыта работы имеющихся солнечных патрульных телескопов рассмотрены возможности регистрации КВМ наземными средствами наблюдений и предложен проект нового патрульного солнечного телескопа.

## 2 Телескопы для регистрации КВМ

Одной из главных задач прогнозирования КП является детектирование и определение начальных параметров КВМ. Корональные выбросы массы являются основным фактором, определяющим сильные геомагнитные бури. КВМ распространяются в солнечном ветре. Понимание механизмов распространения КВМ в солнечном ветре и возможность определить их ожидаемое прибытие на Землю являются ключевыми исследовательскими вопросами и задачами для центров прогнозирования КП. Несмотря на прогресс в этих исследованиях, эволюция КВМ через солнечный ветер и гелиосферу до сих пор недостаточно хорошо изучена из-за редких гелиосферных наблюдений и открытых вопросов относительно структуры КВМ. Для успешного прогнозирования КП необходимы регулярные наблюдения КВМ. В США NOAA/SWPC такие наблюдения проводились и проводятся на космических коронографах. Одним из наиболее востребованных является широкоугольный спектрометрический коронограф белого света (LASCO), используемый в рамках миссии NASA/SOHO. До 2007 г. корональные выбросы можно было регулярно наблюдать только вблизи Солнца (обычно в пределах 30 солнечных радиусов). После запуска миссии STEREO в 2007 г. появилась возможность наблюдать за распространением КВМ из солнечной короны через внутреннюю гелиосферу на околоземную орбиту, используя коронограф белого света. В нашей стране космических солнечных обсерваторий не существует, и их создание займет, очевидно, долгий период. Таким образом, наблюдения и детектирование КВМ является критически важной технологией, которую нужно освоить в кратчайшее время. Для этой цели могут использоваться наземные оптические (Tlatov et al., 2017; Berezin et al., 2023) и радиотелескопы, регистрирующие процессы на полном диске Солнца и работающие в непрерывном режиме. В данной работе мы рассмотрим опыт работы оптических телескопов.

Наблюдение, детектирование и определение параметров КВМ может осуществляться на наземных патрульных телескопах. Такие телескопы обеспечивают непрерывные наблюдения полного диска Солнца с периодичностью порядка минуты в хромосферных линиях  $H\alpha$  и  $Ca II K$ . Прототипы таких телескопов были созданы на Кисловодской Горной астрономической станции (ГАС) ГАО РАН. Автоматизированный телескоп-спектрогелиограф SPOT (Solar Patrol Optical Telescope), работающий в линии  $Ca II K$ , установлен и осуществляет регулярные наблюдения на ГАС ГАО с 2012 г. В 2015 г. создан патрульный автоматический спектрогелиограф, осуществляющий непрерывные наблюдения в линии  $H\alpha$ . В настоящее время на ГАС получен опыт длительных наблюдений на автоматических спектрогелиографах.

Созданные на ГАС патрульные телескопы имеют различную конструкцию. Патрульный телескоп в линии  $Ca II K$  выполнен в однообъемной схеме. Ось телескопа направлена на мировую ось, и во время наблюдений весь телескоп, включая спектрограф, вращается. Сканирование по щели спектрографа осуществляется магнитными подвижными элементами. Телескоп в линии  $H\alpha$  выполнен по стандартной схеме спектрогелиографа. Сопровождение Солнца осуществляется целостатом Йенша. В этом целостате основное и перекидное зеркала установлены на одной подвижной колонне. Эта схема позволяет проводить наблюдения в течение длительного дневного периода, во время которого

зеркала целостата не заслоняют друг друга. Скорость вращения зеркал различается примерно в 2 раза. Далее пучок света подается на телескоп. Телескоп представляет собой рефрактор с диаметром объектива 10 см и фокусным расстоянием 150 см. Для сканирования Солнца по щели используется подвижная платформа с двумя плоскими зеркалами с возможностью перемещения по двум направлениям для юстировки фокуса и сканирования. Создание нового функционального элемента для наблюдения Солнца в линии  $H\alpha$  имело ряд оригинальных конструкторских решений, на которые был оформлен патент на полезную модель № 126854 от 10 апреля 2013 г. Время сканирования диска Солнца составляет от 50 до 120 секунд в зависимости от времени экспозиции и времени, необходимого для позиционирования Солнца на фотогиде. Количество кадров, получаемых при перемещении Солнца через спектральную щель, составляет  $\sim 2000$ . Для регистрации спектра используется CCD-матрица Prosilica GT 3300 с разрядностью ADC 14 bit. Спектральное разрешение составляет 40 000, линейная дисперсия  $\sim 0.16 \text{ \AA}/\text{пиксель}$ . Максимальное число изображений полного солнечного диска, которые можно получить в течение дня, может достигать 450, что соответствует 6.5–8 часам непрерывных наблюдений.

### 3 Проект нового патрульного телескопа SPOT-CME

В данной работе мы представляем проект нового патрульного хромосферного телескопа. Предварительное название – солнечный патрульный оптический телескоп для регистрации КВМ SPOT-CME. Телескоп может быть выполнен по однообъемной герметичной схеме спектрогелиографа (рис. 1). Такая схема позволит создать компактный автоматический телескоп, не требующий павильона, который может быть размещен, например, на крышах зданий. Телескоп осуществляет наблюдения

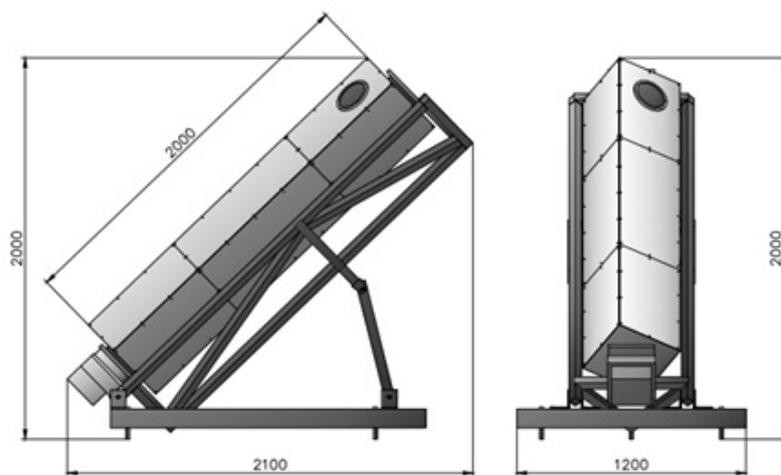


Рис. 1. Габаритная схема патрульного солнечного телескопа SPOT-CME

солнечной атмосферы в выбранных спектральных линиях. В качестве основного объектива может быть использована ахроматическая линза  $d \sim 100 \text{ мм}$  и  $f \sim 1300 \text{ мм}$ . Получение полных изображений Солнца происходит при перемещении солнечного диска по входной щели спектрографа. В процессе сканирования диска Солнца осуществляется запись изображений спектров в оперативную память компьютера. Изображения в линии  $H\alpha$  или  $Ca II K$  регистрируются примерно 1 раз в минуту. После окончания сканирования полученные изображения спектра считываются для формирования изображения диска Солнца в ядре спектральной линии и ее крыльях. Регистрация полного профиля спектральной линии позволяет восстанавливать основные параметры солнечной атмосферы и определять характеристики КВМ. Смена спектральной линии происходит при повороте спектральной решетки и перестройке фокусного расстояния.

На рис. 2 приставлен расчет оптических лучей. Изображение Солнца строится на щели спектрографа (рис. 2а, Slit) с помощью ахроматического объектива (рис. 1а, Lens) и ряда перекидных

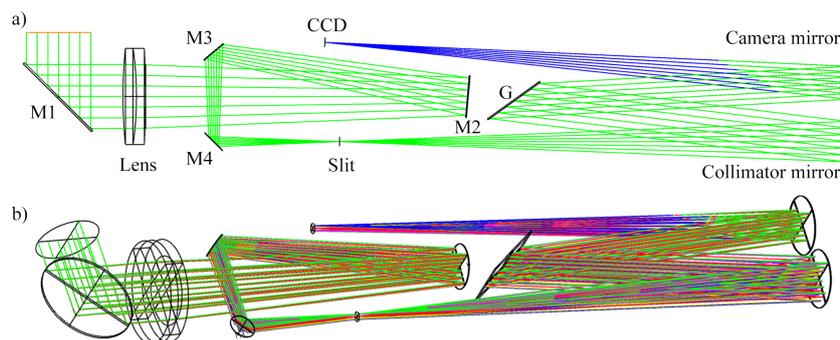


Рис. 2. Расчет оптических лучей в телескопе: а) прямая проекция, б) вид сбоку

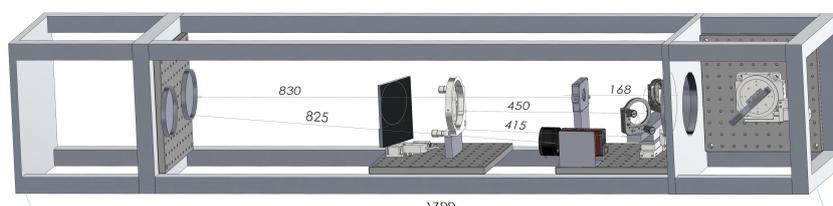


Рис. 3. Схема размещения основных конструктивных элементов внутри телескопа

плоских зеркал M1 – M4. Сканирование поперек щели спектрографа осуществляется перемещением пары зеркал M3 и M4, расположенных на оптической скамье. Спектрограф состоит из входной щели, коллиматорного зеркала ( $f = 0.8$  м), отражательной дифракционной решетки (рис. 2а, G) и камерного зеркала ( $f = 0.8$  м). Регистрация спектров осуществляется CCD-матрицей. Расчетное спектральное разрешение прибора составляет 40 000. Предполагается использование промышленно изготавливаемых элементов оптомеханики. На рис. 3 представлена схема объемной компоновки основных оптомеханических элементов конструкции телескопа. Планируется использование приемника в виде CCD-матрицы Prosilica GT 3300.

## 4 Заключение

В данной работе представлен проект нового солнечного телескопа, который предназначен для непрерывного наблюдения Солнца с интервалом регистрации около одной минуты. Этот телескоп будет включен в сеть Службы Солнца, состоящей как минимум из шести наблюдательных станций. Инструмент разработан для детектирования и определения параметров корональных выбросов массы и солнечных вспышек. Он позволяет наблюдать поля скоростей в солнечной атмосфере и в корональных выбросах. Эксплуатационные характеристики нового телескопа близки к характеристикам телескопов, уже установленных в Кисловодске, однако новый инструмент будет иметь меньшие габариты, вес и стоимость. Телескоп герметичен, автоматизирован и может устанавливаться без павильона на открытой площадке.

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке госзадания Минобрнауки РФ № 075-03-2023-121/3.

## Литература

- Berezin I.A., Tlatov A.G., Pevtsov A.A., 2023. *Astrophys. J.*, vol. 950, no. 2, p. 100.  
 Tlatov A.G., Shramko A.D., Chernov Y.O., Strelkov M.A., Naga Varun E., 2017. *Geomagnetism and Aeronomy*, vol. 57, no. 7, pp. 854–858.

## Telescope for recording coronal mass ejections SPOT-CME

*A.G. Tlatov<sup>1,2</sup>, I.A. Berezin<sup>1,2</sup>, A.D. Shramko<sup>1,2</sup>, R.N. Kirpichev<sup>1</sup>, D.V. Dormidontov<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Mountain Astronomical Station, Central Astronomical Observatory RAS, Gagarina 100, Kislovodsk 357700, Russia

*tlatov@mail.ru*

<sup>2</sup> Kalmyk State University, Pushkina 11, Elista 358000, Russia

**Abstract.** We present a project of the new patrol telescope intended for continuous solar observations with a recording interval of about one minute. The instrument is intended to detect and determine parameters of coronal mass ejections and solar flares. It allows one to observe velocity fields in the solar atmosphere and coronal ejections. The telescope is designed in an air-proof single-volume layout, can be mounted without a pavilion and operates on the principle of a robotic telescope. It can be used within the Solar Service network.

**Key words:** Sun, solar observations, solar telescopes