

СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ ТЕЛЕСКОПОВ ГАС ГАО

**Березин И.А., Тлатов А.Г., Шрамко А.Д., Дормидонтов Д.В.,
Кирпичев Р.В., Сапешко В.И., Скорбеж Н.Н.**

Горная астрономическая станция ГАО РАН, Кисловодск, Россия

SPACE WEATHER FORECASTING SYSTEM BASED ON OBSERVATIONS FROM KMAS TELESCOPES

**Berezin I.A., Tlatov A.G., Shramko A.D., Dormidontov D.V.,
Kirpichev R.V., Sapeshko V.I., Skorbezh N.N.**

Kislovodsk mountain astronomical station of the Pulkovo observatory, Russia

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-27-30>

A complex system for forecasting solar wind (SW) parameters on the basis of two types of ground-based observations has been developed at the Kislovodsk Mountain Astronomical Station (KMAS). The forecasting of recurrence streams is based on synoptic full-disk measurements of magnetic fields on the Sun by means of the STOP magnetograph. Coronal mass ejections (CMEs) are introduced into the modeled recurrent flows in the form of aerodynamic disturbances. Information on the initial parameters of the CMEs is obtained using the patrol telescopes - CME detectors in the H-alpha and Ca II K lines. A brief review of the techniques and models used is presented. Plans for the development of a network of chromospheric telescopes designed to detect CMEs are also discussed.

Введение

В настоящее время одной из наиболее актуальных задач в исследовании Солнца и солнечно-земных связей является изучение и прогноз космической погоды (КП). Самой востребованной информацией для прогнозирования КП являются: уровень солнечной активности в виде вспышек, высокоскоростных потоков солнечного ветра и корональных выбросов массы (КВМ); оценка потоков солнечного излучения в экстремальном ультрафиолетовом диапазоне; потоки космических лучей на высотах коммерческой авиации, пилотируемой космонавтики (в том числе МКС) и спутников. Основной прогресс в области исследований КП достигнут в США, где разработана цельная система наблюдений, анализа и моделирования, обеспечивающая оперативное прогнозирование и выработку рекомендаций. В России существует ряд научных коллективов, которые исследуют КП, опираясь преимущественно на зарубежные данные, но централизованная служба прогноза, наподобие американской, отсутствует. Создание такой национальной службы в России является животрепещущей проблемой, особенно в условиях сильной зависимости от внешних данных. В работе представлена схема системы прогнозирования, в первую очередь, парамет-

ров солнечного ветра (СВ). Система основана на отечественных наблюдениях, выполняющихся в синоптическом режиме на ГАС ГАО.

Система прогнозирования КП

Служба прогнозирования КП должна опираться на непрерывные синоптические наблюдения солнечной активности. На ГАС в настоящее время существует набор наблюдательных программ, моделей и методик, позволяющий производить комплексный прогноз КП. Основными компонентами в системе прогнозирования являются оценка высокоскоростных потоков СВ и прогноз геоэффективности КВМ (рис. 1). В целом, система базируется на четырёх видах наземных наблюдений.

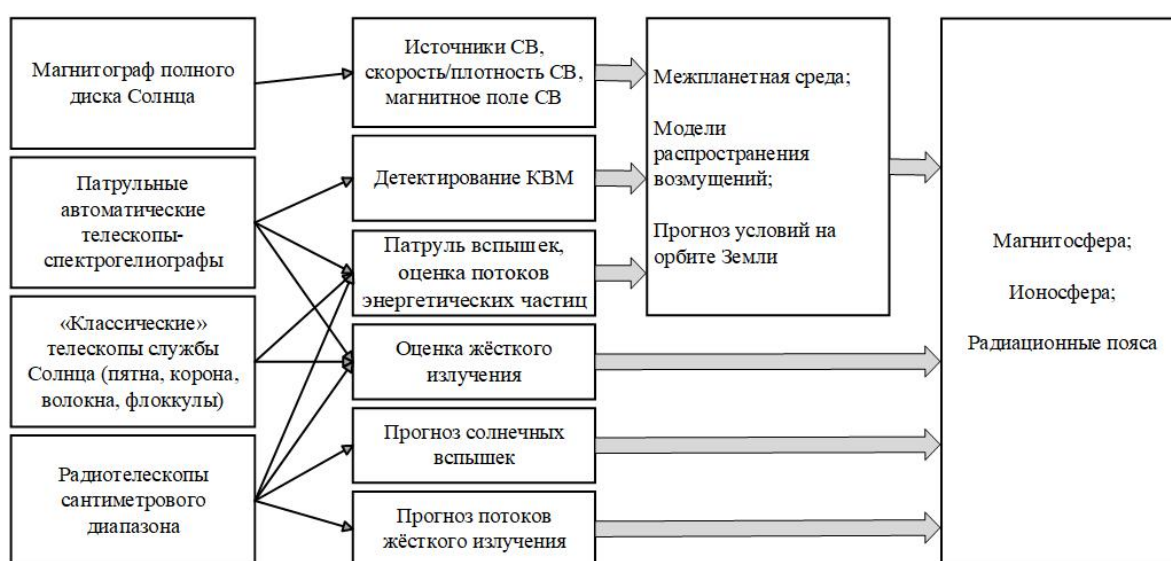


Рис. 1. Схема прогнозирования КП на основе наземных наблюдений в России

Высокоскоростные рекуррентные потоки СВ формируются в областях с открытой конфигурацией магнитных полей. Для моделирования этих потоков на ГАС с 2014 г. ведутся измерения крупномасштабного магнитного поля на полном диске Солнца посредством телескопа-магнитографа СТОП. Экстраполяция фотосферного поля в солнечную корону выполняется в потенциальном приближении с поверхностью источника (PFSS). Однако, возможно использование других моделей солнечной короны, например, на ГАС была разработана непотенциальная модель, учитывающая присутствие в короне радиально расширяющегося СВ конечной проводимости [1]. Определение скорости СВ на поверхности источника производится согласно классической модели Wang-Sheeley-Argе. Кроме того, на ГАС исследуются и внедряются альтернативные подходы к моделированию СВ на основе, например, таких параметров, как длина магнитных трубок и амплитуда поля на поверхности источника [2]. Система прогнозирования рекуррентных потоков работает в режиме службы с 2015 г. [3] и

предоставляет прогноз скорости СВ, Кр-индексов и знака радиальной компоненты магнитного поля на орбите Земли с заблаговременностью до семи дней. Развитием инструментальной базы может стать ввод в эксплуатацию СТОП в Иркутске и Уссурийске.

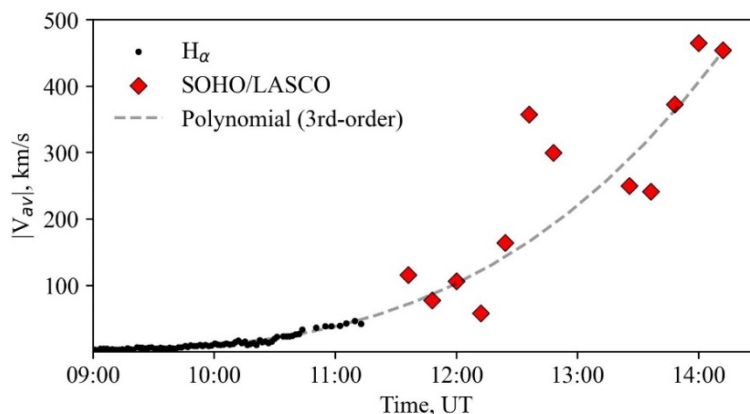


Рис. 2. Средняя лучевая скорость эруптивного волокна 2021.02.20 по наблюдениям в линии H_{α} и скорость фронта КВМ по наблюдениям коронографа LASCO C2

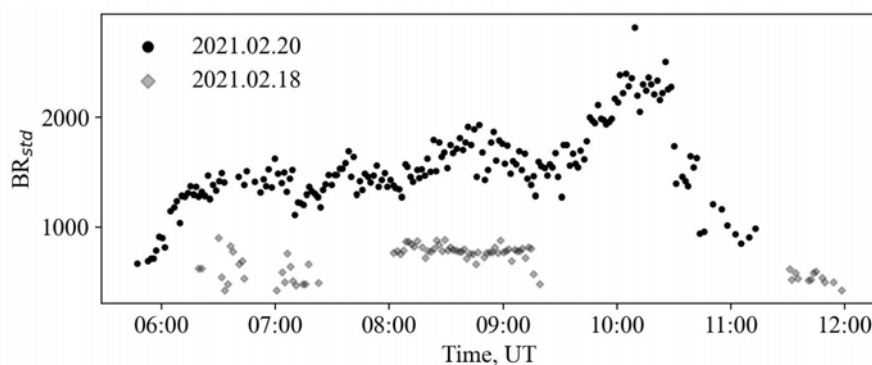


Рис. 3. Уровень возмущений в теле волокна в день эрупции 2021.02.20 и за два дня до эрупции 2021.02.18 по наблюдениям в линии H_{α}

Регистрация КВМ традиционно ведётся с помощью космических коронографов, которых у России нет, и создание которых займёт много времени. Для регистрации КВМ могут использоваться наземные оптические спектрогелиографы, разработанные на ГАС. Эти телескопы записывают полный профиль хромосферных линий (H_{α} и Ca II K) на полном диске Солнца и работают в непрерывном режиме с периодом регистрации порядка одной минуты, пространственным разрешением $1.5''$ и спектральным разрешением 40000. Показано, что такие патрульные наблюдения могут успешно применяться для оценки начального ускорения КВМ [4], причём задолго до того, как выброс можно увидеть в верхней короне (рис. 2). Кроме того, рост уровня турбулентности в теле волокна может сигнализировать о предстоящей эрупции с заблаговременностью в несколько часов (рис. 3). Для оценки геоэффективности КВМ, зарегистрированных с помо-

щью патрульного телескопа, используется информация о фоновом солнечном ветре в гелиосфере, полученная из магнитографических наблюдений, а взаимодействие КВМ с фоновым ветром моделируется в аэродинамическом приближении [5].

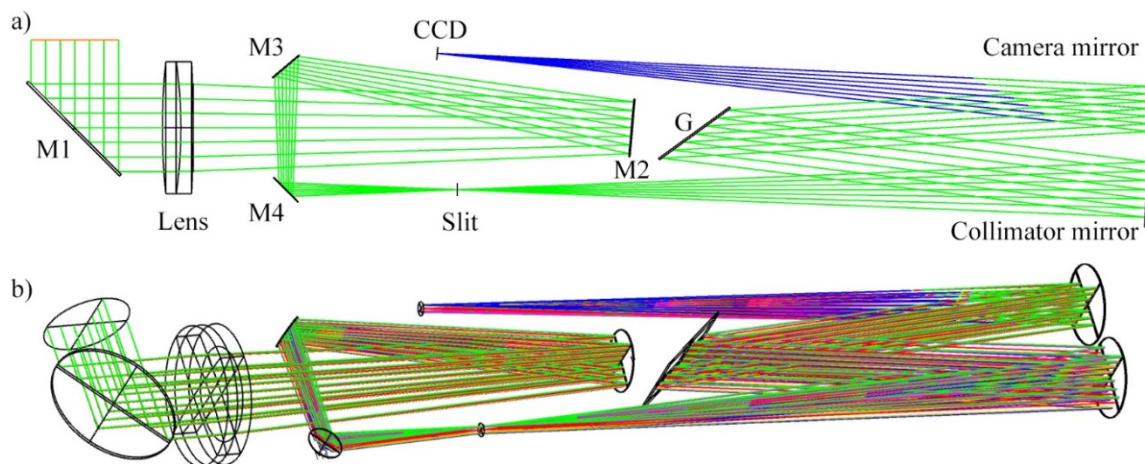


Рис. 4. Оптическая схема нового патрульного телескопа SPOT-CME, трассировка лучей

За всё время работы телескопов в линии Ca II K и H_α (с 2013 г. и 2015 г., соответственно) были зарегистрированы десятки эруптивных событий. Но для службы прогнозирования КП необходимо наблюдать КВМ непрерывно, т.е. необходимо формирование наземной наблюдательной сети, состоящей из, по меньшей мере, шести разнесённых по долготе станций. В связи с этим на ГАС разрабатывается новый патрульный телескоп SPOT-CME в однообъёмной схеме, не требующий павильона для установки (рис. 4). При этом основные характеристики нового телескопа соответствуют характеристикам патрульных телескопов ГАС.

Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки РФ № 075-03-2023-121/3.

Литература

1. Tlatov, A.G.; Berezin, I. Modeling the Magnetic Field of the Inner Corona in a Radially Expanding Solar Wind // *Physics*, 2023, 5, 161–167.
2. Berezin, I.; Tlatov, A. Coronal Field Geometry and Solar Wind Speed // *Universe*, 2022, 8, 646.
3. Tlatov, A.G.; Pashchenko, M.P.; Ponyavin, D.I.; et al. Forecast of Solar Wind Parameters According to STOP Magnetograph Observations // *Geomagnetism and Aeronomy*, 2016, 56, 1095–1103.
4. Berezin, I.A.; Tlatov, A.G.; Pevtsov, A.A. Solar Filament Eruptions in H_α Doppler Velocity // *ApJ*, 2023, 950, 100.
5. Tlatov, A.G.; Berezin, I.A.; Strelkov, M.A. Simulation of Coronal Mass Ejection Propagation Based on Data from Ground-Based Patrol Observations // *Geomagnetism and Aeronomy*, 2020, 59, 843–845.