

УДК 523.9, 520.24

Солнечный синоптический телескоп СОЛСИТ для исследования магнетизма Солнца и космической погоды

*М.Л. Демидов¹, В.М. Григорьев¹, Л.Б. Ретюнский¹, В.И. Скоморовский¹,
С.А. Денисенко², Ю.Д. Пименов², Н.А. Липин²*

¹ Институт солнечно-земной физики СО РАН, ул. Лермонтова, 126-а, г. Иркутск, 664033
demid@iszf.irk.ru

² АО “ЛОМО”, ул. Чугунная, 20, г. Санкт-Петербург, 194044
SADenise@lomo.sp.ru

Поступила в редакцию 17 ноября 2017 г.

Аннотация. В физике Солнца все большее внимание уделяется регулярным долговременным измерениям магнитных полей, охватывающим всю солнечную поверхность. Только обладая такой информацией, можно (и то при определенных предположениях) рассчитывать параметры гелиосферы, предсказывать геоэффективные явления. Поэтому созданию инструментов, способных обеспечивать такие наблюдения, в мире уделяется значительное внимание. С целью создания в России современного телескопа, способного выполнять полнодисковые и полновекторные измерения с высоким пространственным и временным разрешением, несколько лет назад в ИСЗФ СО РАН, в сотрудничестве с АО ЛОМО, были начаты работы по разработке и созданию нового солнечного инструмента, которому, исходя из его основных научных целей, было дано название СОЛСИТ – Солнечный синоптический телескоп. В июне 2017 г. СОЛСИТ был установлен в специально построенной башне в Байкальской астрофизической обсерватории и начаты работы по организации на нем регулярных наблюдений. В докладе приводятся основные сведения об оптической схеме и конструктивных элементах СОЛСИТ.

THE SOLAR SYNOPTIC TELESCOPE SOLSYT FOR STUDYING SOLAR MAGNETISM AND SPACE WEATHER, *by M.L. Demidov, V.M. Grigoryev, L.B. Retyunsky, V.I. Skomorovsky, S.A. Denisenko, Yu.D. Pimenov, N.A. Lipin.* In the physics of the Sun growing attention is paid to regular long-term measurements of magnetic fields covering the whole solar surface. Only having such information, it is possible (under certain assumptions) to calculate parameters of the heliosphere and predict geoeffective phenomena. Therefore, considerable world-wide attention is given to the construction of instruments capable to provide such observations. To create in Russia a modern telescope capable of performing the full-disk and full-vector measurements with high spatial and temporal resolution, a few years ago at ISTP SB RAS, in cooperation with LOMO JSC, there were started works on the development and creation of a new solar instrument, which, based on its main scientific goals, was named the Solar Synoptic Telescope SOLSYT. In June 2017, SOLSYT was installed in a specially constructed tower at the Baikal Astrophysical Observatory, and necessary actions were initiated to organize regular observations with it. The paper provides basic information about the optical scheme and the structural elements of SOLSYT.

Ключевые слова: Солнце, магнитные поля, оптика, телескоп, спектрограф

1 Научная актуальность солнечных поляриметров

Физика Солнца имеет не только фундаментальное физическое, но и прикладное геофизическое значение. Особенно очевидным это стало в последние десятилетия, когда сформировалось новое научное направление – космическая погода. Задачей этого направления является изучение влияния процессов, происходящих на нашем дневном светиле, на околоземное космическое пространство (особенно в контексте воздействия на космические аппараты – автоматические и пилотируемые), геомагнитную активность, энергетические системы и трубопроводы (особенно в приполярных областях) и т. д. Существует несколько “агентов влияния” солнечных процессов на околоземную среду. Важнейший из них – магнитное поле. Причем не только (и не столько) сильные локальные магнитные поля активных областей, сколько относительно слабое, но покрывающее огромные площади солнечной поверхности крупномасштабное магнитное поле (КМП). Анализ возможностей и проблем наблюдений КМП Солнца в контексте задач космической погоды приведен в недавней работе (Демидов, 2017), одним из выводов которой является констатация факта существования значительных неопределенностей в данных измерений в различных обсерваториях.

Факт существования значительных различий при сопоставлении данных измерений магнитных полей Солнца на различных инструментах известен давно, но он не получил до сих пор надежного объяснения. Применительно к анализу магнитограмм полного диска по данным обсерваторий Маунт-Уилсон (MWO), Солнечной обсерватории им. Дж. Уилкокса (WSO), Китт-Пик (KP), SOHO/MDI и Саянской солнечной (SSO) значительные вариации коэффициентов регрессии обнаружены в работе (Демидов и др., 2008). Недавно острота проблемы при сопоставлении наблюдений магнитных полей Солнца на разных инструментах применительно к проблемам космической погоды продемонстрирована в работе (Хаяши и др., 2016). А именно, при расчетах параметров корональных дыр в рамках модели поверхности источника в потенциальном приближении (Potential Field Source Surface, PFSS) с использованием синоптических карт (для кэррингтоновского оборота CR 2144) четырех обсерваторий (SDO/HMI, GONG, HSOS, WSO) оказалось, что результаты одних обсерваторий сильно отличаются от результатов других. Поэтому естественным представляется вывод о необходимости критического отношения к сторонним данным и желательности использования собственных, отечественных, в которых должна быть уверенность, что возможные ошибки измерений (неизбежные при регистрации слабых КМП, определяющих глобальную структуру гелиосферы, а следовательно, и космическую погоду) должным образом исследованы и устранены.

Поэтому, констатируя факт значительного отставания России перед США в создании высокочувствительных магнитографов наземного и космического базирования, обеспечивающих регулярный полнодисковый мониторинг солнечных магнитных полей, несколько лет назад в ИСЗФ СО РАН в рамках реализации курируемой Институтом прикладной геофизики (ИПГ) Федеральной целевой программы были начаты, в тесном взаимодействии с АО ЛОМО (г. Санкт-Петербург) и другими предприятиями, работы по разработке и созданию нового солнечного телескопа, предназначенного для полновекторных и полнодисковых измерений магнитных полей Солнца с достаточно высоким пространственным разрешением – около 2-х угловых секунд.

Исходя из основных научных целей нового инструмента, ему было дано название СОЛСИТ – Солнечный синоптический телескоп. Ближайшим аналогом созданного инструмента можно считать телескоп SOLIS/VSM в США (Келлер и др., 2001), заменивший в обсерватории Китт-Пик успешно работавший на протяжении многих лет огромный вакуумный солнечный телескоп. Основными конструктивными особенностями SOLIS являются отказ от использования зеркальных систем типа целостата или сидеростата, совмещение в одной монтировке собственно телескопа и компактного, но высокодисперсионного спектрографа, применение протяженной входной щели спектрографа, охватывающей весь солнечный диск. Для устранения эффектов искажения изображений Солнца и спектра, вызванных нагревом элементов конструкции солнечным излучением, SOLIS выполнен полностью герметичным и наполнен гелием, имеющим высокую теплопроводность.

Наиболее существенной общей чертой СОЛСИТ и SOLIS/VSM является использование навесного малогабаритного спектрографа, позволяющего выполнять спектрополяриметрические измерения (в

отличие от фильтрового телескопа SMAT (Solar Magnetism and Activity Telescope), установленного в обсерватории HSOS (Huairou Solar Observing Station), описание которого дано в (Жан и др., 2007)).

При разработке СОЛСИТ было принято решение отказаться от использования герметичного корпуса и применить открытую компоновку, более традиционную для астрономических телескопов. Чтобы уменьшить искажения солнечного изображения чрезмерным солнечным излучением, применена схема Грегори с промежуточным фокусом, в котором устанавливается специальная диафрагма (промежуточная щель), пропускающая в дальнейшую оптическую схему лишь малую часть солнечного излучения. Основная часть энергии при этом поглощается и отражается наружу. Именно такая схема используется в новых крупных наземных солнечных телескопах (GREGOR, NST, DKIST), а также на космическом аппарате Hinode. Было решено также отказаться от осесимметричной схемы и использовать внеосевую систему. Внеосевые системы обладают целым рядом уникальных достоинств и используются в таких крупнейших проектах современности, как DKIST (обсерватория Халеакала, Гавайи) и NST (обсерватория Биг-Бэр, Калифорния).

Некоторые сведения о СОЛСИТ по состоянию на 2013 г. приведены в (Демидов и др., 2013). В данной же работе сосредоточимся на дополнительной информации, отсутствующей в указанной выше публикации. Отметим, что особенности методики юстировки внеосевых телескопов типа Мерсенна, каковым является СОЛСИТ, изложены в (Понин и др., 2016).

2 Основные сведения об оптической схеме и элементах конструкции СОЛСИТ

Оптическая схема телескопа представлена на рис. 1 и состоит из двух основных частей – объектива и спектрографа. Объектив представляет собой систему Мерсенна, состоящую из двух внеосевых парабол и охлаждающегося до температуры окружающей среды узла промежуточной щели с теплообменником. В параллельном пучке лучей (что для используемого электрооптического анализатора поляризации очень существенно, поскольку устраняются ошибки поля зрения) после вторичного зеркала, перед апохроматическим объективом, установлена турель с интерференционными фильтрами и анализатор поляризации. Основные технические характеристики главного зеркала: фокусное расстояние

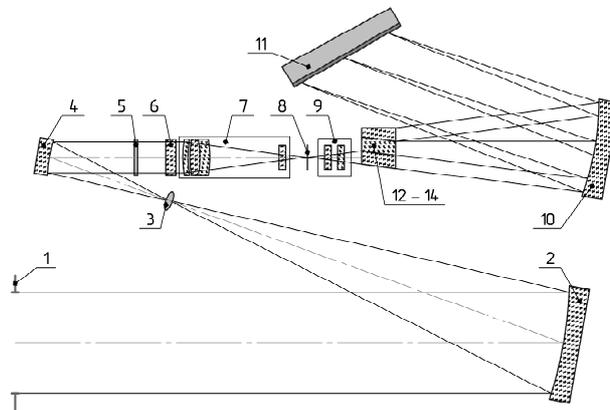


Рис. 1. Оптическая схема СОЛСИТ. 1 – входная диафрагма, 2 – главное зеркало, 3 – тепловая диафрагма, 4 – вторичное зеркало, 5 – анализатор поляризации, 6 – сменный интерференционный светофильтр, 7 – апохроматический объектив, 8 – спектральная щель, 9 – фокусирующее устройство, 10 – параболическое зеркало, 11 – дифракционная решетка, 12 – 14 – узел фотоприемника, состоящий из диагонального зеркала, цилиндрической линзы, ПЗС-камеры

яние 2799 мм, диаметр входного зрачка 350 мм, относительное отверстие 1:8, угловое поле зрения 35.4 угл. мин, спектральный диапазон 0.5–1.8 мкм, расчетная разрешающая способность 0.4 угл. сек, расчетная деформация волнового фронта (среднеквадратичное отклонение – СКО) для осевой точки при $\lambda = 0.633$ мкм составляет 0.06λ .

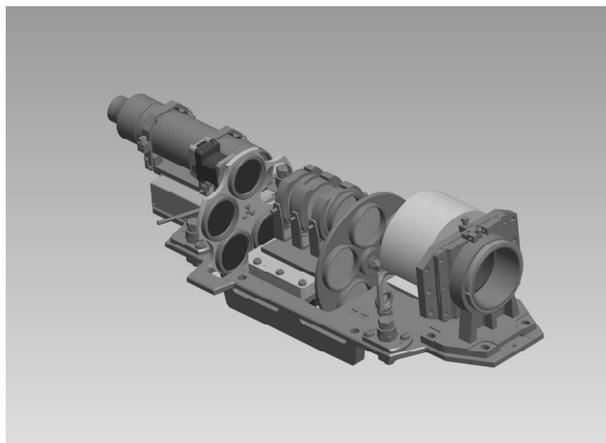


Рис. 2. Оптические элементы СОЛСИТ после вторичного зеркала до входной щели спектрографа. Справа на- лево последовательно расположены: охлаждаемый узел промежуточной щели (heat-stop), турель калибровочной насадки, анализатор поляризации, состоящий из двух электрооптических DKDP-кристаллов и поляризационной призмы, турель интерференционных светофильтров, объектив-апохромат на подвижной каретке

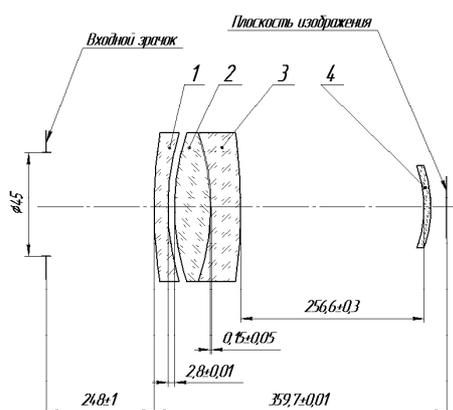


Рис. 3. Конструкция объектива-апохромата СОЛСИТ с основными параметрами входящих в него линз. Спек- тральный диапазон составляет $525 \div 1085$ нм, фокусное расстояние 342 мм, относительное отверстие $1/7.6$, поле зрения в плоскости изображения 26.6 мм

С помощью объектива-апохромата, в котором произведена коррекция хроматизма для длин волн $525, 630, 850, 1085$ нм и аберрации скомпенсированы при работе с протяженным источником, изображение Солнца проектируется на щель спектрографа. На рис. 2 показаны основные элементы между вторичным зеркалом и щелью спектрографа. Кроме того, между апохроматом и щелью спектрографа предусмотрено устройство для визуального контроля положения фокуса при смене интерференционных фильтров. Это устройство (микроскоп) вводится и выводится из пучка при помощи плоского зеркала, установленного на оси объектива. Узел объектива апохромата установлен на каретку, которая имеет подвижку в пределах ± 4 мм в ручном и автоматическом режиме с чувствительностью ± 0.01 мм. Конструкция апохромата (рис. 3) выполнена таким образом, что безабберационное изображение достигается специальными подвижками линз.

Спектрограф СОЛСИТ выполнен по схеме Литтрова и его основными элементами являются: входная щель с микрометрической головкой, позволяющей регулировать ширину раскрытия, фокусирующий объектив, коллиматорное зеркало (внеосевая парабола), дифракционная решетка (размеры заштрихо-

ванной области 200 на 300 мм, 300 штрихов на мм), диагональное зеркало, анаморфотный объектив (состоящий из цилиндрических линз), узел фотоприемника. В табл. 1 приведены основные параметры спектрографа при наблюдениях в рабочих спектральных линиях.

Таблица 1. Параметры спектрографа при наблюдениях в основных рабочих линиях

λ , А	Угол дифракции	Порядок дифракции	Дисперсия, А/мм
5250	51.96	10	0.646
6300	49.12	8	0.875
8500	49.91	6	1.404
10830	54.47	5	1.521

В июне 2017 г. оптические детали СОЛСИТ были доставлены из Санкт-Петербурга в Иркутск (вилочная монтировка была разработана и создана собственными силами опытного производства ИС-ЗФ СО РАН) и были выполнены работы по сборке и юстировке. Затем телескоп был транспортирован



Рис. 4. Этап монтажных работ по установке СОЛСИТ в башню

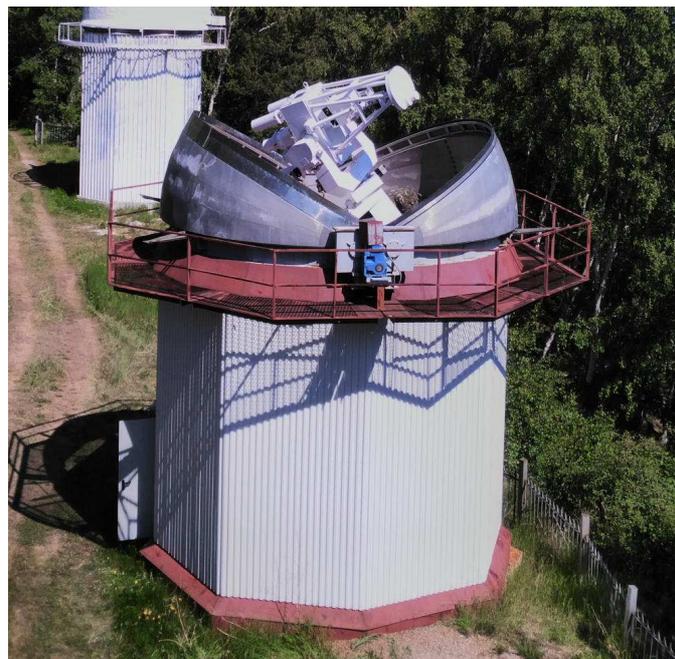


Рис. 5. СОЛСИТ внутри купола астрономической башни на нижней наблюдательной площадке Байкальской астрофизической обсерватории

в Байкальскую астрофизическую обсерваторию (БАО) и установлен в специально построенную астрономическую башню. На рис. 4 показан момент подъема всего комплекса СОЛСИТ в башню, а на рис. 5 – СОЛСИТ в рабочем положении в башне.

Башня СОЛСИТ расположена на нижней наблюдательной площадке БАО, на которой находятся два хромосферных H_{α} -телескопа. Расстояние этой астрономической площадки от кромки воды се-

верного берега Байкала составляет около 200 м, так что большая часть суточного движения Солнца происходит над гладью глубочайшего в мире озера, холодные водяные массы которого стабилизируют атмосферу и способствуют улучшению качества изображения. Наблюдения с высоким пространственным разрешением, однако, не являются целью СОЛСИТ (для этого предназначен другой инструмент БАО – Большой солнечный вакуумный телескоп, БСВТ), гораздо более важным является другое следствие наличия вблизи большого водоема – отсутствие облаков (которые, как известно, преимущественно концентрируются над горными вершинами). В итоге в БАО согласно многолетней статистике достаточно много солнечных дней, что важно для обеспечения регулярных наблюдений.

Литература

- Демидов М.Л. // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3. № 1. С. 22.
- Демидов и др. (Demidov M.L., Golubeva E.M., Balthasar H., Staude J., Grigoryev V.M.) // Solar Phys. 2008. V. 250. P. 279.
- Демидов М.Л., Григорьев В.М., Ретюнский Л.Б., Скоморовский В.И., Денисенко С.А., Пименов Ю.Д., Липин Н.А., Сокольский М.Н., Гусаров В.Ф. // Всероссийская конференция по солнечно-земной физике “Физика Солнца и околоземного космического пространства”. Иркутск: ИСЗФ СО РАН. 2013. С. 232.
- Жан и др. (Zhang H.Q., Wang D.G., Deng Y.Y., et al.) // Chin. J. Astron. Astrophys. 2007. V. 7. Issue 2. P. 281.
- Келлер и группа SOLIS (Keller C.U. and the SOLIS Team) // Advanced Solar Polarimetry – Theory, Observation, and Instrumentation. ASP Conference Proceedings. / Ed. Sigwarth M. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific. 2001. V. 236. P. 16.
- Понин О.В., Селиверстова Ю.О., Шаров А.А. // Научно-технический журнал “Контенант”. 2016. Т. 15. № 1. С. 82.
- Хаяши и др. (Hayashi K., Yang S., Deng Y.) // J. Geophys. Res. Space Phys. 2016. V. 121. P. 1046.