

УДК 520.1+523.9

Исследования Солнца в Крыму

О.С. Гопасюк

ФГБУН “Крымская астрофизическая обсерватория РАН”, Научный, Крым, 298409
olg@crao.crimea.ua

Поступила в редакцию 1 ноября 2015 г.

Аннотация. Кратко излагается история исследований Солнца в Крыму и основные научные результаты изучения солнечной активности, полученные в Крымской астрофизической обсерватории.

THE SUN RESEARCHES IN THE CRIMEA, by *O.S. Gopasyuk*. The paper briefly describes the history of solar investigations in the Crimea and the main scientific results of studying solar activity obtained at the Crimean Astrophysical Observatory.

Ключевые слова: история астрономии, физика Солнца, солнечная активность

Наблюдения Солнца в Крыму начались в тридцатых годах двадцатого века в Симеизе, когда в обсерватории в 1932 г. был установлен фотогелиограф Дальмейера для регулярных наблюдений солнечной поверхности в интегральном свете. С этого момента обсерватория начала участвовать во всесоюзных и международных программах по ежедневному определению количества и площади солнечных пятен и факелов. Основным наблюдателем Солнца в Симеизской обсерватории был В.А. Альбицкий.

В 1938 г. появилась возможность проводить визуальные наблюдения солнечной хромосферы в линии водорода H_{α} – вошел в строй стандартный спектрогелиоскоп Хейла. Это позволило ежедневно определять количество и интенсивности флоккулов и волокон, отслеживать эволюцию хромосферных вспышек и оценивать их мощность.

Во время войны наблюдения были прекращены – Симеизская обсерватория была полностью разрушена.

Дальнейшее развитие исследования Солнца в Крыму получили после принятия 30 июня 1945 г. Правительством СССР решения о строительстве Крымской астрофизической обсерватории. И сразу же встал вопрос о всестороннем исследовании физических процессов, протекающих в солнечной атмосфере, физической природы явлений солнечной активности и механизмов их влияния на земные процессы. Для решения этих задач необходимо было создать комплекс аппаратуры, позволяющий проводить монохроматические, спектральные и поляризационные исследования Солнца в широком диапазоне длин волн.

Одним из первых приборов, восстановленных после войны в Симеизе, стал спектрогелиоскоп. Регулярные наблюдения на нем начались 1 мая 1947 года. После некоторых конструктивных дополнений спектрогелиоскоп начал эффективно использоваться для фотографической регистрации спектров. Регулярные спектральные наблюдения Солнца, начатые в КраО в 1952 г., позволили А.Б. Северному, Э.Р. Мустелю, Э.Е. Дубову, Г.С. Иванову-Холодному,

В.Л. Хохловой получить новые важные данные о физических условиях во вспышках, флоккулах и протуберанцах.

Здесь следует напомнить, что в конце сороковых годов почти ничего не было известно о роли магнитных полей в развитии активных областей и вспышек на Солнце, еще была далека эра космических исследований, не было такого понятия, как гелиосейсмология.

Следующим этапом в развитии исследований Солнца стало создание в 1948 г. А.Б. Северным и Б.А. Гильваргом интерференционно-поляризационного фильтра с полосой пропускания 0.5 \AA (Северный, Гильварг, 1949), что дало возможность применить киносъемку для регистрации быстрых процессов на Солнце и получать детальную картину их развития.



Рис. 1. Солнечные телескопы КраО (слева направо): башенный солнечный телескоп им. академика А.Б. Северного (БСТ-1); коронограф КГ-1; башенный солнечный телескоп БСТ-2; коронограф КГ-2

Одним из первых телескопов, который был построен в п. Научном в 1950 г., стал внеатомный коронограф КГ-1 (рис. 1). Многочасовые ежедневные наблюдения на КГ-1 с интерференционно-поляризационным фильтром и кинокамерой позволили накопить громадный наблюдательный материал для исследования развития вспышек и характера наблюдаемых в них движений и выбросов. Основными наблюдателями КГ-1 многие годы были Е.Ф. Шапошникова и М.Б. Огирь. В настоящее время на телескопе ведется ежедневный мониторинг вспышек, флоккулов, протуберанцев в линии H_{α} . Монохроматические наблюдения Солнца в Крымской обсерватории проводили А.Б. Северный, Э.Е. Дубов, С.И. Гопасюк, А.Н. Бабин, Т.Т. Цап, Л.Г. Карташова, А.Н. Шаховская.

В 1954 г. вступил в строй Башенный солнечный телескоп БСТ-1 – ныне телескоп носит имя академика А.Б. Северного. Телескоп был оснащен двумя спектрографами, двойным спектрогелиографом. На нем проводили спектральные наблюдения А.Б. Северный, Г.С. Иванов-Холодный, В.Л. Хохлова, Н.Н. Степанян.

Теоретические исследования вспышек и активных образований под руководством А.Б. Северного успешно проводили В.П. Шабанский, А.Г. Косовичев, Д.Н. Рачковский, Э.А. Барановский.

Первые наблюдения магнитных полей пятен в Крыму были выполнены А.Б. Северным и В.Е. Степановым в 1955 г. на БСТ-1, сначала наблюдения велись фотографическим методом, позже – визуальным. В 1956 г. А.Б. Северным, В.Е. Степановым и Н.С. Никулиным был создан магнитограф для измерения слабых магнитных полей на Солнце (Никулин и др., 1958). Солнечный магнитограф КраО обладал значительно большим пространственным разрешением и более высокой чувствительностью по сравнению с магнитографом обсерватории Маунт-Вилсон. На рис. 2 представлена одна из первых записей магнитного поля Солнца, полученная на магнитографе БСТ-1.

Исследования солнечных магнитных полей в Крымской обсерватории в разные годы проводили А.Б. Северный, В.Е. Степанов, Н.С. Никулин, С.И. Гопасюк, Т.Т. Цап, В.А. Котов, О.С. Гопасюк, В.И. Ханейчук.

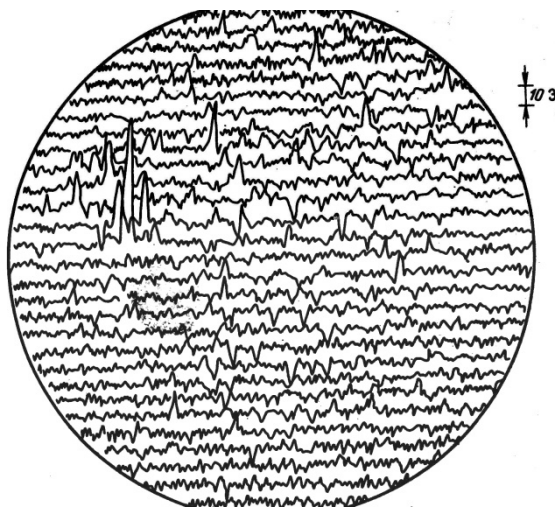


Рис. 2. Одна из первых записей магнитного поля всего диска Солнца

Начиная с 1968 г. на БСТ-1 ведутся систематические наблюдения общего магнитного поля Солнца как звезды (Северный, 1969). Полученный наблюдательный материал внес основополагающий вклад в исследования общего магнитного поля Солнца и его секторной структуры (см., например, Северный, 1969; Северный и др., 1970; Котов, 1987).

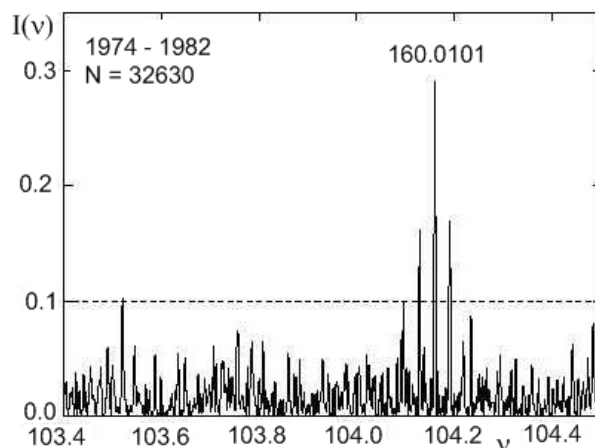


Рис. 3. Спектр мощности колебаний Солнца по измерениям КрАО за 1974–1982 гг.

В середине семидесятых годов А.Б. Северный и его сотрудники В.А. Котов и Т.Т. Цап начали новое направление солнечных исследований – гелиосейсмологию – изучение колебательных процессов на Солнце (Северный и др., 1976). Для определения глобальных наблюдений Солнца был создан дифференциальный метод, позволивший впервые в астрофизике измерять лучевые скорости с точностью до 1 м/с. На рис. 3 представлен спектр мощности колебаний Солнца по

измерениям КраО за 1974–1982 гг. Главный пик отвечает периоду 160.0101 (± 15) мин. В дальнейшем были исследованы не только колебания скоростей, но и колебания магнитного поля и яркости Солнца. Это позволило получить новые сведения о внутреннем строении Солнца и вращении его глубинных слоев.

В настоящее время на БСТ им. академика А.Б. Северного проводятся измерения общего магнитного поля и глобальных пульсаций Солнца.

В 1969 г. вступил в строй башенный солнечный телескоп БСТ-2 (рис. 1). На БСТ-2 были перенесены измерения напряженностей магнитных полей пятен. Начали проводиться спектроскопические наблюдения. Сегодня на телескопе получают изображения Солнца в линии HeI 1083 нм, проводят наблюдения отдельных солнечных образований, измерения максимальной напряженности солнечных пятен, строят синоптические карты Солнца.

Оснащение спектрографов солнечных телескопов дифракционной решеткой эшелле, позволяющей за одну экспозицию получить спектр в широком диапазоне длин волн, стало новым шагом в исследовании вспышек и позволило изучить характер распространения возбуждения от вспышки по высоте атмосферы Солнца.

В 1979 г. при активном участии Э.Е. Дубова был построен большой коронограф КГ-2 (рис. 1), позволяющий получать одновременно и спектр отдельных деталей на Солнце и их изображение в линии водорода H_{α} с высоким пространственным разрешением.

Начиная с 1959 г. КраО активно участвовала во внеатмосферных исследованиях Солнца. В обсерватории были созданы успешно работавшие в космосе коротковолновые дифракционные спектрометры (КДС). Они предназначались для измерений излучения Солнца в ультрафиолетовой области спектра и были установлены на третьем корабле-спутнике (1960 г.) и ИСЗ “Космос-166” (1967 г.). В 1974 г. на ИСЗ “Интеркосмос-16” был установлен ультрафиолетовый спектрометр для измерения резонансного рассеяния в короне. В 1975 г. на пилотируемой станции “Салют-4” были установлены КДС-3 и Орбитальный солнечный телескоп (ОСТ-1), позволившие получить новые сведения о физических условиях в различных образованиях на уровне верхней хромосферы и переходной области хромосфера-корона (Брунс и др., 1979).

В конце 50-х годов в Научном начаты регулярные радиоастрономические наблюдения Солнца в широком диапазоне частот. В 1966 г. завершено строительство радиотелескопа РТ-22 в п. Качивели, в последующие годы к исследованиям Солнца подключились радиотелескопы РТ-2, РТ-3 и РТ-М. Исследования Солнца в радиодиапазоне в Научном и Качивели проводили Н.А. Савич, А.С. Дворяшин, И.Г. Моисеев, Н.Н. Ерюшев, Л.И. Цветков, Ю.Ф. Юровский.

Успешные наблюдения во время Международного гелиофизического года (МГГ), 1957–1958 гг., позволили провести разносторонние исследования и обнаружить межпланетное магнитное поле и исследовать его природу.

С первых лет наблюдений Солнца в Крыму обсерватория работала по программам Службы Солнца. Наблюдения на коронографе КГ-1 и фотосферно-хромосферном телескопе, установленном в 1955 г. в Симеизе, позволило КраО занять ведущее место в Службе Солнца по наблюдению солнечных вспышек, флоккулов, протуберанцев. Ежедневные измерения магнитных полей пятен, проводящиеся на телескопе БСТ-2 с 1969 г. и по настоящее время, заняли лидирующее положение не только в нашей стране, но и в мире.

Исследование физической природы солнечных вспышек, регулярные спектроскопические наблюдения и измерения солнечных магнитных полей позволили крымским ученым получить пионерские результаты по физике Солнца. Перечислим некоторые из них:

- Создание магнитографа полного вектора позволило впервые в мире записать напряженность поперечных составляющих магнитного поля, определить пространственную структуру поля в активных областях и вычислить электрические токи (Степанов, Северный, 1962).

- Открытие тонкой структуры солнечных образований с элементами меньше 1 угл. сек (Северный, 1957, 1988; Стешенко, 1967; Бабин, Коваль, 1985a, b): тонкой структуры эмиссии вспышек; тонкой структуры поляризованных элементов вспышек и усов и быстрое изменение поляризации со временем; тонкой структуры магнитных полей на Солнце и поля скоростей.

В спектре Солнца в линиях водорода H_α и H_β (рис. 4) видны тонкая структура и усы. В усах наблюдаются протяженные крылья при невозмущенном центре линии.

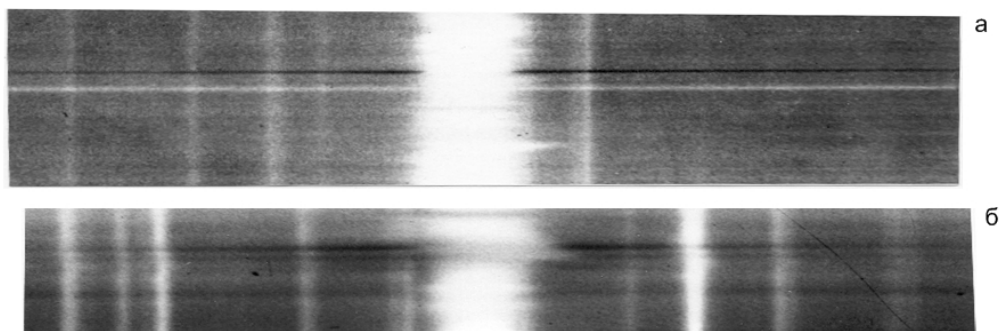


Рис. 4. Тонкая структура и усы (а) в линии H_α и (б) в линии H_β

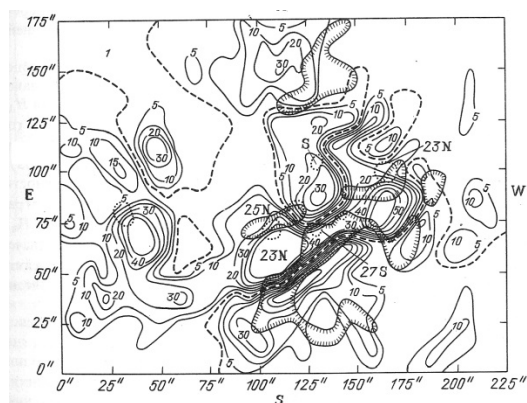


Рис. 5. Карта продольных магнитных полей в области вспышки

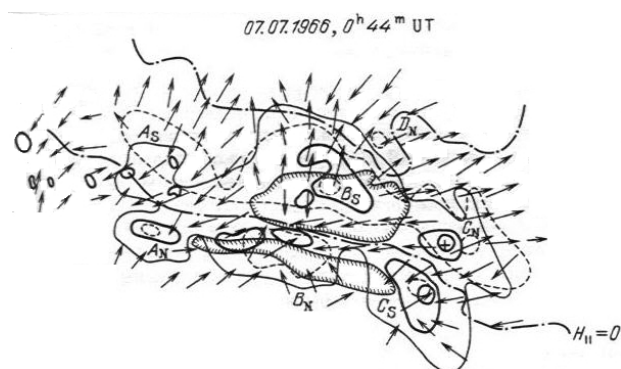


Рис. 6. Карта поперечных магнитных полей в активной области со вспышкой

- Обнаружение спектральных особенностей излучения вспышек в оптическом континууме (Бабин, 1965; Барановский, Коваль, 1982; Бабин, Коваль, 1993).
- Обнаружение сильной вертикальной и горизонтальной неоднородности магнитного поля (Северный, 1964, 1965a, b; Степанов, Гопасюк, 1962; Гопасюк, Северный, 1983; Гопасюк, 1985; Гопасюк и др., 1993).
- Выявление фундаментальной связи возникновения вспышек с особенностями структуры магнитного поля активной области, что в дальнейшем легло в основу методики прогнозирования солнечных вспышек (Северный и др., 1979), примененной для прогнозов в реальном времени при полетах космонавтов, и построение физической модели вспышки.

На рис. 5 и 6 представлены карты магнитных полей в области вспышки. Видно, что вспышечные узлы расположены вблизи от нулевой линии продольного поля. Поперечное магнитное поле в области вспышки меняет направление.

- Определение системы электрических токов в активных областях (Северный, 1965b; Моретон, Северный, 1968; Абраменко, Гопасюк, 1987; Абраменко и др., 1988, 1991).
- Выявлена роль горизонтальных и вертикальных движений в активной области в генерации электрических токов, создании предвспышечной ситуации и развитии вспышечного процесса (Гопасюк, 1961, 1965; Гопасюк, Моретон, 1967).
- Обнаружение крутильных колебаний пятен с периодом около 6 суток. Использование характеристик этих колебаний для диагностики движения плазмы и структуры поля в глубоких слоях Солнца (Гопасюк, 1981; Гопасюк, Гопасюк, 2005).
- Установлена связь между секторной структурой межпланетного магнитного поля и общим магнитным полем Солнца (Северный, 1969; Северный и др., 1970; Котов, 1987).
- Открытие 160-мин колебаний на Солнце, которое послужило толчком к развитию новой области физики Солнца – гелиосейсмологии (Северный и др., 1976). В 1985 г. обсерватории был вручен диплом Госкомизобретений СССР за № 274 об открытии.
- Показано, что фоновые магнитные поля – не остатки распавшихся активных областей, а самостоятельное явление. Источник магнитных полей корональных дыр расположен глубже источника фоновых полей (Андреева и др., 2006; Степанян и др., 2007).

Созданный в Крымской астрофизической обсерватории уникальный комплекс телескопов позволяет проводить многоволновые наблюдения Солнца на различных высотах в атмосфере Солнца: от фотосферы до короны. Данные наблюдений ежегодно пополняют 9 баз, которые публикуются на сайте <http://solar.crao.crimea.ua/>:

- изображение Солнца в линии HeI 1083 нм;
- изображение Солнца в линии H_α;
- максимальная напряженность магнитного поля солнечных пятен;
- напряженность общего магнитного поля Солнца;
- колебание лучевой скорости фотосферы;
- результаты спектральных наблюдений отдельных солнечных образований;
- солнечные радиоданные;
- относительные числа солнечных пятен;
- синоптические карты Солнца.

В настоящее время исследования Солнца в Крымской астрофизической обсерватории ведутся по трем основным направлениям:

- крупномасштабные характеристики Солнца;
- активные образования и нестационарные процессы на Солнце;
- солнечно-земные связи.

Исследования по физике Солнца в Крымской астрофизической обсерватории по-прежнему остаются на переднем фланге науки. Свидетельством этому служат участие в международных наблюдательных программах, публикации сотрудников обсерватории в престижных изданиях, проведение в Крымской обсерватории ежегодных международных конференций, посвященных самому широкому кругу вопросов по физике Солнца и солнечно-земным связям.

Литература

- Абраменко В.И., Гопасюк С.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1987. Т. 76. С. 147.
- Абраменко В.И., Гопасюк С.И., Огирь М.Б. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1988. Т. 80. С. 97.
- Абраменко В.И., Гопасюк С.И., Огирь М.Б. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1991. Т. 83. С. 3.
- Андреева О.А., Зельк Я.И., Степанян Н.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2006. Т. 102. С. 84.
- Бабин А.Н., Коваль А.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1985а. Т. 70. С. 3.
- Бабин, Коваль (Babin A.N., Koval A.N.) // Solar Phys. 1985b. V. 98. P. 159.
- Бабин А.Н., Коваль А.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1993. Т. 88. С. 60.
- Банин В.Г. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1965. Т. 33. С. 118.
- Барановский Э.А., Коваль А.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1982. Т. 65. С. 35.
- Брунс А.В., Гречко Г.М., Губарев А.А., Климук П.И., Севастьянов В.И., Северный А.Б., Стешенко Н.В., Феоктистов К.П. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1979. Т. 59. С. 3.
- Гопасюк С.И. // Астрон. журн. 1961. Т. 38. С. 209.
- Гопасюк С.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1965. Т. 33. С. 100.
- Гопасюк, Моретон (Gopasyuk S.I., Moreton G.E.) // Proc. Astron. Soc. Australia. 1967. V. 1. P. 8.
- Гопасюк С.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1981. Т. 64. С. 108.
- Гопасюк С.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1985. Т. 72. С. 159.
- Гопасюк С.И., Гопасюк О.С. // Кинем. и физ. небесн. тел. 2005. Т. 21. № 4. С. 257.
- Гопасюк С.И., Демкина Л.Б., Тарасова Т.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1993. Т. 87. С. 26.
- Гопасюк С.И., Северный А.Б. // Письма в Астрон. журн. 1983. Т. 9. С. 120.
- Котов В.А. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1987. Т. 77. P. 39.
- Моретон, Северный (Moreton G.E., Severny A.B.) // Solar Phys. 1968. V. 3. P. 282.
- Никулин Н.С., Северный А.Б., Степанов В.Е. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1958. Т. 19. С. 3.
- Северный А.Б. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1957. Т. 17. С. 129.
- Северный А.Б. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1964. Т. 31. С. 126.
- Северный А.Б. // Астрон. журн. 1965а. Т. 42. С. 217.
- Северный А.Б. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1965b. Т. 33. С. 3
- Северный (Severny A.) // Nature. 1969. V. 224. P. 53.
- Северный А.Б. // Некоторые проблемы физики Солнца. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1988.
- Северный А.Б., Гильварг А.Б. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1949. Т. 4. С.3.
- Северный и др. (Severny A., Wilcox J.M., Scherrer P.H., Colburn D.S.) // Solar Phys. 1970. V. 15. P. 3.
- Северный и др. (Severny A.B., Kotov V.A., Tsap T.T.) // Nature . 1976. V. 259. P. 89.
- Северный и др. (Severny A.B., Stepanyan N.N., Steshenko N.V.) // in NOAA Solar-Terrest. Predictions Proc. 1979. V. 1. P. 72.
- Северный А.Б., Степанов В.Е. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1956. Т. 16. С. 3.
- Степанов В.Е., Гопасюк С.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1962. Т. 28. С. 194.
- Степанов В.Е., Северный А.Б. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1962. Т. 28. С. 166.
- Степанян Н.Н., Андреева О.А., Зельк Я.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2007. Т. 103. № 1. С. 70.
- Стешенко Н.В. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1967. Т. 37. С. 21.