

УДК 523.9

Наблюдения вспышечной активности Солнца 6 сентября 2017 года

Вольвач А. Е., Якубовская И. В.

*Отдел радиоастрономии и геодинамики,
Крымская астрофизическая обсерватория, Ялта, 298688, Российская Федерация
volvach@bk.ru*

Получено: 22 февраля 2020 г.

Отрецензировано: 2 марта 2020 г.

Принято к публикации: 5 марта 2020 г.

Аннотация: *Возмущение, вызванное солнечной вспышкой, сопровождается генерацией радиоизлучения понижающейся частоты, воздействует на биосферу и влияет на качество работы многих устройств наземного и космического оборудования. Радиоастрономический диагностический комплекс, созданный на базе радиотелескопа РТ-22 и трех малых радиотелескопов, интегрирован во Всемирную Службу мониторинга солнечной активности, которая включает 14 наземных станций в кооперации с орбитальными обсерваториями. Четыре робот-радиотелескопа КрАО, объединенные в Службу Солнца KRIM, расположенную в координатах $33^{\circ} 59' 30''$ Е долготы и $44^{\circ} 23' 52''$ N широты, ведут наблюдения Солнца в диапазоне длин волн от 8 мм до 1,2 м в режиме мониторинга и алертов. В сентябре 2017 года Служба Солнца KRIM зарегистрировала серию сильных вспышек в момент минимума солнечной активности.*

Ключевые слова: *радиотелескоп, радиоизлучение, вспышка, Солнце.*

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Вольвач А. Е., Якубовская И. В. Наблюдения вспышечной активности Солнца 6 сентября 2017 года // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2020. Т. 3, № 1. С. 32—40.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Вольвач, А. Е. Наблюдения вспышечной активности Солнца 6 сентября 2017 года / А. Е. Вольвач, И. В. Якубовская // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2020. — Т. 3, № 1. — С. 32—40.

Observations of flare activity of the Sun on September 6, 2017

A. E. Volvach and I. V. Yakubovskaya

*Radio Astronomy and Geodynamics Department, Crimean Astrophysical Observatory,
Yalta, 298688, Russian Federation
volvach@bk.ru*

Received: February 22, 2020

Peer-reviewed: March 2, 2020

Accepted: March 5, 2020

Abstract: *The perturbation caused by the solar flare is accompanied by the generation of radio frequency radiation of decreasing frequency, affects the biosphere and affects the quality of work of many devices of ground and space equipment. The radio astronomy diagnostic complex, created on the basis of the RT-22 radio telescope and three small radio telescopes, is integrated into the World Solar Activity Monitoring Service, which includes 14 ground stations in cooperation with orbital observatories. Four KrAO robotic radio telescopes, combined into the Solar Service KRIM, located at coordinates $33^{\circ} 59' 30''$ E longitude and $44^{\circ} 23' 52''$ N latitudes, are observing the Sun in the wavelength range from 8 mm to 1.2 m in the mode monitoring and alerts. In September 2017, the Sun Service KRIM recorded a series of powerful flares at the time of minimum solar activity.*

Keywords: *radio telescope, radio emission, flare, Sun.*

For citation (IEEE): A. E. Volvach and I. V. Yakubovskaya, "Observations of flare activity of the Sun on September 6, 2017," *Infocommunications and Radio Technologies*, 2020, vol. 3, no. 1, pp. 32–40.

1. Введение

Солнечные вспышки — чрезвычайно мощные взрывы в солнечной атмосфере. Они встречаются вблизи солнечных пятен, обычно вдоль линии разделения (нейтральная линия) между областями с противоположно направленными магнитными полями. Физически вспышка представляет собой отклик солнечной атмосферы на внезапный быстрый процесс энерговыделения, возможно, магнитного происхождения. Отклик затрагивает, главным образом, хромосферу и корону [1]. Возмущение, вызванное солнечной вспышкой, сопровождается радиоизлучением, которое можно исследовать в широком диапазоне волн, от миллиметровых до длины волны 15—20 м [2].

Солнечные вспышки сопровождаются увеличением уровня ионизирующей радиации, прекращением радиосвязи, изменением озонового слоя, усилением интенсивности космических лучей и т. д. Корпускулярный поток вызывает магнитные бури и полярные сияния. Поэтому дистанционные системы контроля и управления, радиационная обстановка в ближнем космосе, навигация, системы посадки самолетов, радиосвязь и другие виды технической деятельности человечества подвержены влиянию солнечной активности. В связи с этим прогнозирование «космической погоды» имеет большое значение.

С целью исследования геодинамических явлений и влияния физических параметров объектов Солнечной системы и Солнца на состояние экосистемы Земли и околоземного пространства создан комплекс для проведения непрерывных наблюдений в соответствии с существующими международными критериями станциями гелио-геодинамического полигона «Симеиз-Кацивели»: РСДБ станция «Симеиз», лазерные дальнометры «Симеиз-1873» и «Кацивели-1893», GPS-станции «GPS-CRAO» и «GPS-Katsively» в составе международных сетей; службой мониторинга солнечной активности с помощью радиотелескопов РТ-22, РТ-2, РТ-3, РТ-М в составе международной сети Службы Солнца [3]. Получение и совершенствование знаний о механизмах такого влияния, проведения мониторинга и прогнозирования изменений в масштабных экосистемах существования человечества позволяют определять условия его жизнедеятельности.

2. Оборудование и наблюдения

Для получения систематических данных о состоянии солнечной активности в Крымской астрофизической обсерватории были сконструированы и длительное время эксплуатируются радиотелескопы сантиметрового, дециметрового и метрового диапазонов длин волн (рис. 1).

Радиотелескоп РТ-2 представляет собой параллактическое поворотное устройство с электрическим приводом по часовому углу, на котором установлено параболическое зеркало диаметром 2,5 м с совмещенными облучателями на длинах волн 3 и 5 см (частоты 10 и 6 ГГц), помещенное в 6-метровый радиопрозрачный купол. Радиометры прямого усиления построены на основе малощумящих микроволновых (сверхвысокочастотных) усилителей. На длине волны 3 см ширина луча составляет $1^{\circ} 15'$, а на длине волны 5 см — $1^{\circ} 45'$. Полоса пропускания каждого канала составляет 40 МГц, постоянная времени — 1 с. РТ-2 принимает излучение в сантиметровом диапазоне длин волн, чтобы получить информацию о процессах, происходящих в нижней хромосфере Солнца.

Радиотелескоп RT-3 представляет собой параллактическое поворотное устройство с электроприводом по часовому углу, на котором установлено параболическое зеркало диаметром 3 м с совмещенными облучателями для длин волн 10 и 12 см (частоты 2,5 и 2,85 ГГц). Он помещен в радиопрозрачный купол диаметром 6 м для защиты от метеовоздействий, что значительно улучшает качество и стабильность данных. Ширина диаграммы направленности антенны составляет $2,3^{\circ}$ — $2,5^{\circ}$. Это обеспечивает получение радиоизлучения со всей поверхности радиодиска Солнца. Полоса пропускания каждого канала составляет 40 МГц, минимальная постоянная времени — 10 мс, сигнал записывается в цифровом виде с частотой дискретизации 1 Гц в режиме ожидания и 100 Гц во время всплеска радиоизлучения. Телескоп собирает информацию о физических условиях в области энерговыделения солнечных вспышек — верхней хромосфере и нижней короне.



Рис. 1. Радиотелескопы Службы Солнца Крымской астрофизической обсерватории.

Fig. 1. Radio telescopes of the Sun Service of the Crimean Astrophysical Observatory

Радиотелескоп RT-M оснащен антенной 4×4 м, установленной на параллактической установке с электроприводом по часовому углу. Она представляет собой синфазную решетку, состоящую из 16 элементов. Ширина полосы пропускания каждого канала составляет 250—350 МГц. Ширина луча составляет 11° , ширина полосы частот каждого канала составляет 300 кГц, минимальная постоянная времени составляет 1,25 мс, непре-

рывный динамический диапазон — 30 дБ, запись цифрового сигнала происходит на частоте 400 Гц.

Для регистрации коронального излучения установлен радиоспектрограф e-Callisto, рабочие частоты которого варьируются от 275 до 327 МГц (длины волн от 0,9 до 1,09 м). На нем ведутся регулярные наблюдения в автоматическом режиме с передачей полученных данных каждые 15 минут в Центральную базу данных в Цюрихе для предоставления онлайн-вой диагностики солнечных вспышек.

Динамический спектрограф позволяет регистрировать зависимость интенсивности излучения от частоты и времени. Спектральные наблюдения позволяют классифицировать радиовсплески, основываясь на четко определенных особенностях радиоизлучения, например таких как скорость частотного дрейфа, ширина полос отдельных деталей всплеска и структур гармоник. Эти характеристики всплеска важны, поскольку они связаны с физическими свойствами источника.

Данные, полученные радиотелескопом RT-M в виде динамических спектров, дают ценную информацию для изучения различных событий в короне, таких как вспышки, выбросы корональной массы. Такие данные полезны для определения физических явлений, ответственных за ускорение частиц на Солнце [4].

солнечной

3. Результаты

На сентябрь 2017 года приходился 24 цикл минимума солнечной активности. С 4 по 10 сентября через западную половину видимого диска солнца проходил активный регион NOAA 12673 (согласно NOAA — National Oceanographic and Atmospheric Administration), увеличивая свою площадь и поддерживая очень активные бета-гамма-дельта магнитные группы. Согласно SWPC (Центр предсказания космической погоды) всего в этом районе зафиксировано 54 вспышки класса C, 26 вспышек класса M, 4 вспышки класса X.

Служба Солнца KRIM зафиксировала некоторые из этих всплесков на радиотелескопах сантиметрового, дециметрового и метрового диапазонов волн. 6 сентября 2017 года, с 11:53 до 13:00 UT, радиотелескопы Службы Солнца KRIM зафиксировали мощный радиовсплеск, который достиг максимального значения в 12:02 UT (рис.3, 4).

Проведено многоволновое исследование двух вспышек X-класса 6.09.2017. Во время вспышек наблюдалось два мощных радио всплеска. Первый всплеск (X2.2) имел временную задержку около 12 с от более высоких до более низких частот см диапазона длин волн и 23 с между сантиметровым и метровым диапазонами волн. Для второго всплеска (X9.3) времен-

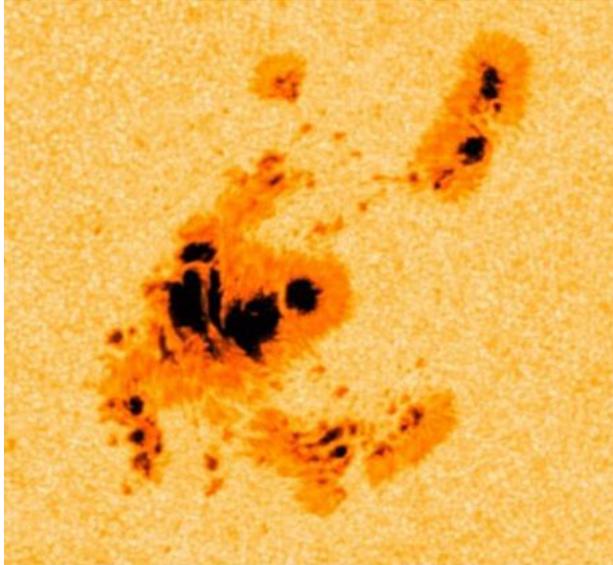


Рис. 2. Область пятен, находящихся в активной области NOAA 12673 (согласно HMI NASA SDO).
Fig. 2. The area of spots located in the active area of NOAA 12673 (according to HMI NASA SDO)

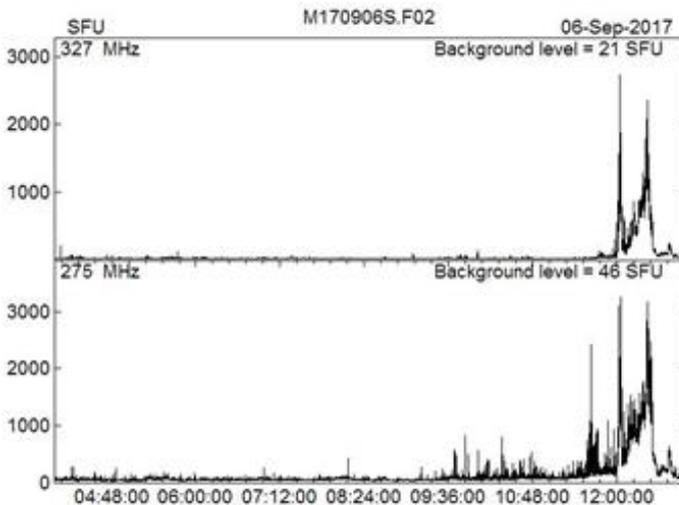


Рис. 3. Спектральные потоки радиоизлучения, зарегистрированные RT-M. На графике хорошо видны сильные радиовсплески произошедшие в 12:02 UT с максимальным значением плотности спектрального потока 3260 SFU на частоте 275 и 2733 SFU на частоте 327 МГц.

Fig. 3. Spectral fluxes of radio emission recorded by RT-M. Strong radio bursts that occurred at 12:02 UT with a maximum spectral flux density of 3260 SFU at a frequency of 275 and 2733 SFU at a frequency of 327 MHz are clearly visible on the graph

ная задержка составила 1.4 минуты и 5.5 минут соответственно. Для вспышки X2.2 частотный спектр более жесткий, по сравнению со вспышкой X9.3. Нормированные потоки интенсивностей в континууме и (E)UV варьируются в соответствии с изменениями излучения SXR.

Проведено многоволновое исследование двух вспышек X-класса 6.09.2017. Во время вспышек наблюдалось два мощных радио всплеска. Первый всплеск (X2.2) имел временную задержку около 12 сек от более высоких до более низких частот см диапазона длин волн и 23 сек между сантиметровым и метровым диапазонами волн. Для второго всплеска (X9.3) временная задержка составила 1.4 минуты и 5.5 минут соответственно. Для вспышки X2.2 частотный спектр более жесткий, по сравнению со вспышкой X9.3. Нормированные потоки интенсивностей в континууме и (E)UV варьируются в соответствии с изменениями излучения SXR.

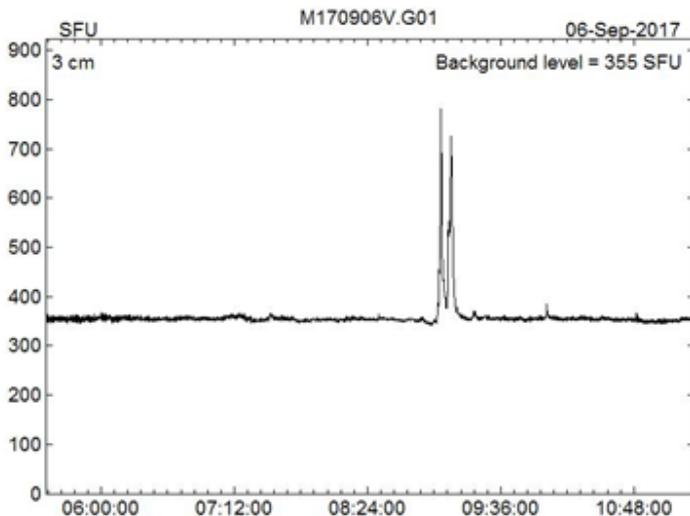


Рис. 4. Спектральный поток радиоизлучения, зарегистрированный RT-2 на частоте 10 ГГц.

На графике хорошо виден сильный радио всплеск, произошедший в 09:10 UT с максимальным уровнем плотности спектрального потока 691 SFU на частоте 10 ГГц.

Fig. 4. Spectral radiation flux recorded by RT-2 at a frequency of 10 GHz. The graph shows a strong radio burst that occurred at 09:10 UT with a maximum spectral flux density of 691 SFU at a frequency of 10 GHz

Корреляция между фотосферной, хромосферной и корональной активностями предполагает магнитную связь между фотосферным, хромосферным и корональным слоями во время мелкомасштабных процессов на предварительной фазе вспышки. Различные временные константы в разных слоях атмосферы могут объяснить некоторые различия во временных

профилях. Таким образом, оптически тонкие корональные источники могут быстро излучать энергию, в то время как источники глубоко в хромосфере и такие особенности, как излучение SXR, могут тратить больше времени на рассеивание энергии, выделяемой в этих слоях.

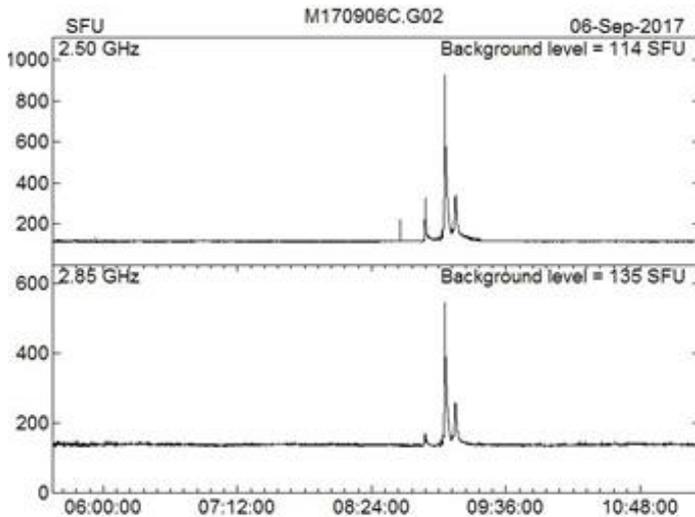


Рис. 5. Спектральные потоки радиоизлучения, зарегистрированные РТ-3 на частоте 2,5 ГГц и 2,85 ГГц. На графике хорошо виден сильный радиовсплеск, произошедший в 09:10 по UT, с максимальным уровнем плотности спектрального потока 941 SFU на 2,5 ГГц и 578 SFU на 2,85 ГГц.

Fig. 5. Spectral fluxes of radio emission recorded by RT-3 at a frequency of 2.5 GHz and 2.85 GHz. The graph clearly shows a strong radio burst that occurred at 09:10 UT, with a maximum spectral flux density of 941 SFU at 2.5 GHz and 578 SFU at 2.85 GHz

4. Заключение

Возмущение, вызванное солнечной вспышкой, достигает орбиты Земли, воздействует на биосферу и влияет на качество работы многих устройств наземного и космического оборудования.

Данные ежедневного мониторинга солнечной активности с помощью радиотелескопов Службы Солнца KRIM позволяют оценить радиационную обстановку вблизи Земли, прогнозировать стабильность радиосвязи, надежность навигационных систем, дистанционный мониторинг и контроль, являются основой для изучения физических условий в солнечной короне, что позволяет повысить точность прогноза солнечной активности.

6 сентября 2017 года радиотелескопы Службы Солнца KRIM зафиксировали мощный радиовсплеск. Распространение возмущения в солнеч-

ной атмосфере сопровождалось генерацией радиоизлучения понижающейся частоты. Своевременное предсказание наступления таких событий позволяет подготовиться к преодолению их негативных последствий.

Список литературы

1. Мирошниченко Л. И. Физика Солнца и солнечно-земные связи ; под ред. М. И. Панасюка. М. : Университетская книга, 2011. 174 с.
2. Железняков В. В. Радиоизлучение Солнца и планет // Успехи физических наук, 1958, т. LXIV, вып. 1, с. 113—154.
3. Kurbasova G. S., Volvach A. E., and Volvach L. N. Astronomical Cycles in the Climatic and Geophysical Characteristics of Crimea // Cosmic Research, 2019, Vol. 57, No. 4, pp. 243–251.
4. Вольвач А. Е., Юровский Ю. Ф., Самисько К. В., Самисько С. А., Якубовская И. В. Мониторинг солнечной активности в радиодиапазоне станциями службы солнца «KRIM». Изв. Крымской астрофиз. общ., 2016, т. 112, № 2, с. 179—186.

Информация об авторах

Вольвач Александр Евгеньевич, доктор физико-математических наук, заместитель директора по научной работе ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН», пгт. Научный, Крым.

Якубовская Инна Валерьевна, научный сотрудник ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН», пгт. Научный, Крым.

Information about the authors

Alexandr E. Volvach, Dr. Sci., FSBSI “Crimean Astrophysical Observatory of RAS”, Nauchni, Crimea, Russian Federation.

Inna V. Yakubovskaya, Sci., FSBSI “Crimean Astrophysical Observatory of RAS”, Nauchni, Crimea.