

ОЦЕНКА ПЯТНООБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ СОЛНЦА ПО ВСЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ВБЛИЗИ МАКСИМУМА 25 ЦИКЛА СА

Лебедев Н.И., Лебедев М.Н.

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В.Пушкина РАН, Троицк, Москва, Россия

lebedev@izmiran.ru

Общепринятая методика оценки активности Солнца по подсчету относительного числа солнечных пятен (чисел Вольфа) на видимом диске показала свою эффективность на достаточно продолжительных интервалах времени, что нельзя сказать о периодах, сравнимых и меньше кэррингтоновского оборота. К настоящему времени существуют два способа наблюдать активность на обратной стороне Солнца: гелиосейсмология и прямые наблюдения с борта космических аппаратов, обращающихся по гелиоцентрическим орбитам. Гелиосеймологический метод не имеет необходимого разрешения для подсчета чисел Вольфа, в то время как установленный на КА Solar Orbiter прибор Polarimetric and Helioseismic Imager (PHI) проводит регулярные снимки фотосферы с хорошим пространственным разрешением.

В течении пяти месяцев 2024 года с апреля по сентябрь KA Solar Orbiter находился практически на противоположной стороне Солнца. Полученный за это время непрерывный ряд изображений диска Солнца был использован для определения активных областей и подсчета относительного числа солнечных пятен на обратной стороне Солнца. Были проведены сравнительные оценки пятнообразовательной активности на обеих сторонах Солнца и по всей поверхности в целом.

Исследования глобальной активности Солнца базируются в основном на трех наблюдательных методах: подсчете солнечных пятен, определении их общей площади [Ю.И.Витинский, 1986] и измерении радиоизлучения на длине волны 10,7 см. Во всех этих методах наблюдения охватывают обращенную к Земле видимую полусферу Солнца. При изучении долговременных вариаций солнечной активности, таких как 11-летний солнечный цикл и более, этот недостаток не имеет существенного значения, поскольку обычно берутся значения измеряемых величин, усредненные по большому по сравнению с периодом вращения Солнца интервалам времени. Например, при анализе развития циклов солнечной активности часто используют средневзвешенные значения за 13 месяцев.

С другой стороны, наблюдения пятнообразовательной активности Солнца на периодах, сравнимых с кэррингтоновским оборотом, могут приводить к значительным ошибкам, вследствие того, что при подсчете чисел Вольфа большой вклад вносят не вновь образующиеся пятна и группы пятен, а заход уже существующих активных областей за западный

лимб и их выход из-за восточного. По этой причине для изучения короткопериодичной динамики вариаций солнечной активности необходимо иметь информацию о пятнообразовательной деятельности на всей поверхности Солнца.

К настоящему времени существуют два способа наблюдать активность на обратной стороне Солнца: гелиосейсмология [Braun, D. C. and Lindsey, C. 2001] и прямые наблюдения с борта космических аппаратов (КА), обращающихся по гелиоцентрическим орбитам. Гелиосейсмологический метод, основанный на определении неоднородностей в фотосфере по изменению скорости звука при распространении глобальных акустических колебаний в подфотосферных слоях, дает достаточно грубую картину распределения только наиболее крупных активных областей и не может быть использован для подсчета чисел Вольфа. Прямые наблюдения обратной стороны Солнца с борта космических аппаратов (КА) стали возможны после запуска в 2020 г. космической обсерватории Solar Orbiter. Данный КА имеет эллиптическую гелиоцентрическую орбиту и периодически оказывается по другую сторону Солнца по отношению к Земле. Находящийся на борту КА Solar Orbiter телескоп Polarimetric and Helioseismic Imager (PHI) [S. K. Solanki et al. 2020] позволяет получать изображения полного диска Солнца в континууме на длине волны 617 нм с разрешением 3,75".

В течении пяти месяцев с апреля по сентябрь 2024 года КА Solar Orbiter находился практически на противоположной стороне Солнца (Рис.1).

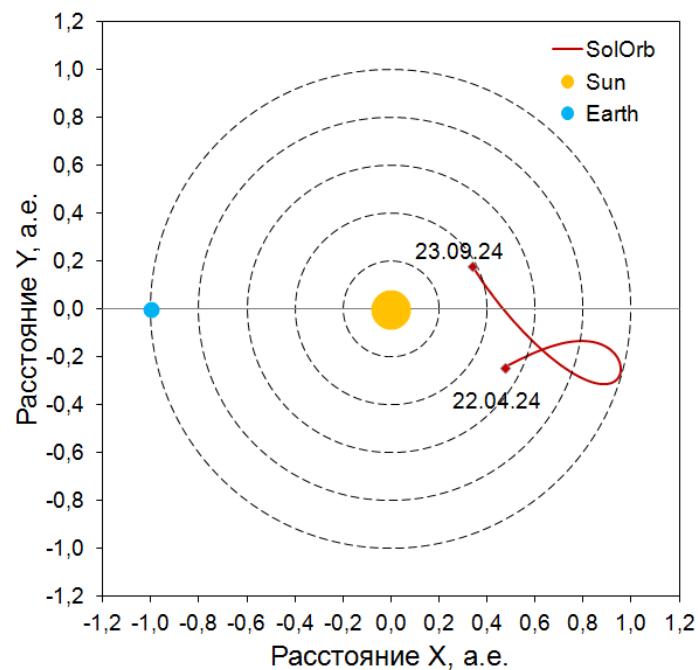


Рис. 1. Положение КА Solar Orbiter относительно Солнца и Земли в период 22.05.24 г. - 23.09.24 г.

Полученный за это время непрерывный ряд изображений диска Солнца был использован для определения активных областей и подсчета относительного числа солнечных пятен. На Рис.2 приведены для сравнения изображения видимой стороны солнечного диска, полученного прибором HMI с борта КА SDO 5 мая 2024 г., обратной стороны Солнца с борта Solar Orbiter 17 мая 2024 г. и построенное по наблюдениям сети GONG гелиосейсмологическое изображение обратной стороны за тот же день 17 мая.

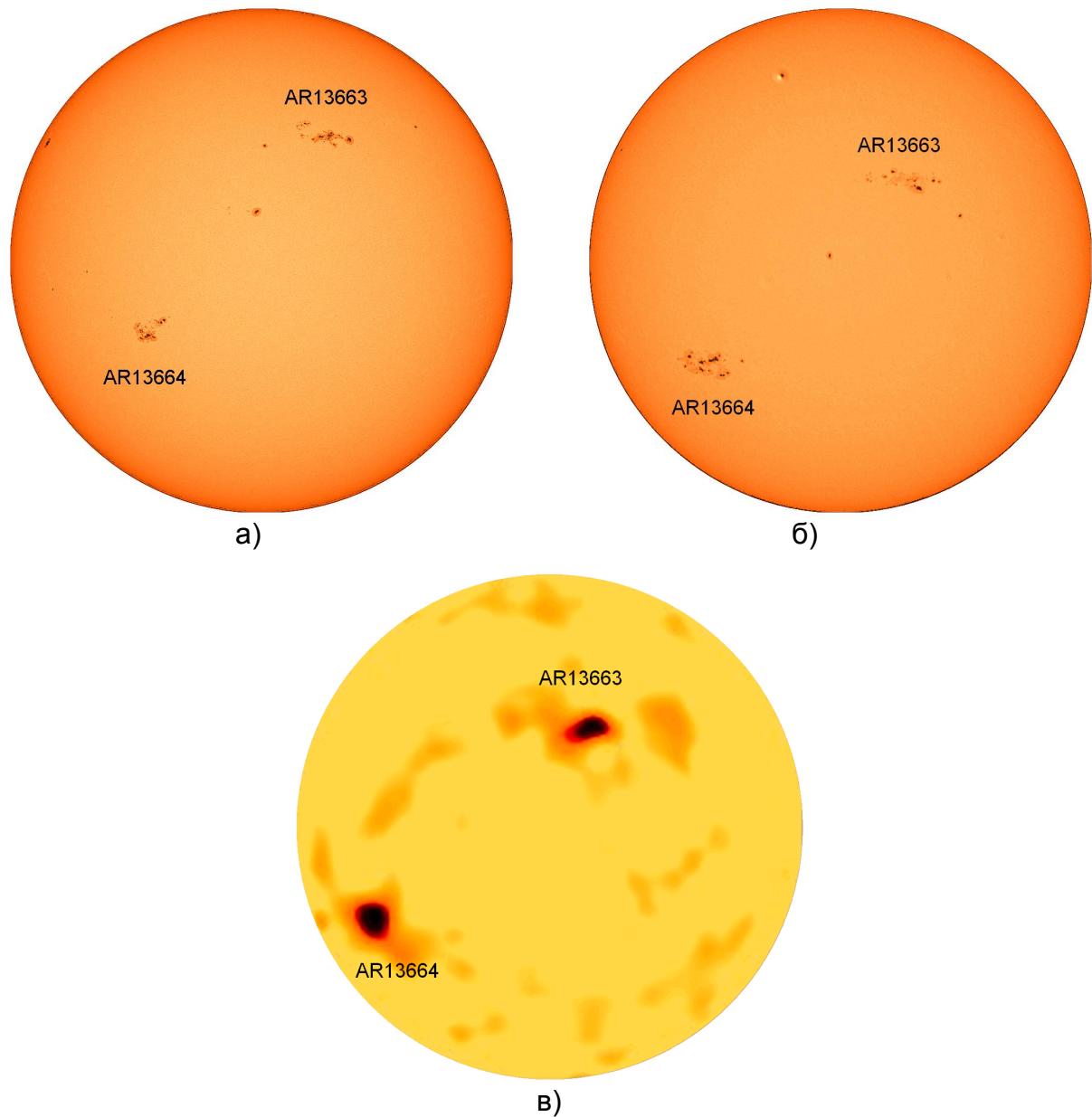


Рис. 2. Изображения солнечного диска: а) HMI SDO 05.05.24 г., б) PHI Solar Orbiter 17.05.24 г., в) GONG 17.05.24 г.

Хорошо видно, что крупные группы пятен AR13663 и AR13664, наблюдаемые на видимой стороне продолжили свое существование и на обратной стороне. Можно заключить, что пространственное разрешение

изображений PHI Solar Orbiter позволяет определять с достаточным качеством структуру групп пятен и может использоваться для вычисления чисел Вольфа, в то время как гелиосейсмологическое изображение отражает лишь общие контуры активных областей.

В течение выбранного для анализа периода с 22 апреля по 23 сентября 2024 г. (155 дней, 5,6 кэррингтоновских оборота) КА Solar Orbiter находился на расстоянии от 0,28 а.е. до 0,95 а.е. от Солнца, причем отклонение оси КА - Солнце не превышало $\pm 30^\circ$ от направления Земля - Солнце. 13 сентября космический аппарат находился точно напротив Земли. На Рис. 3. приведены изображения Солнца, полученные приборами HMI SDO и PHI Solar Orbiter, полностью охватывающие обе полусфера светила.

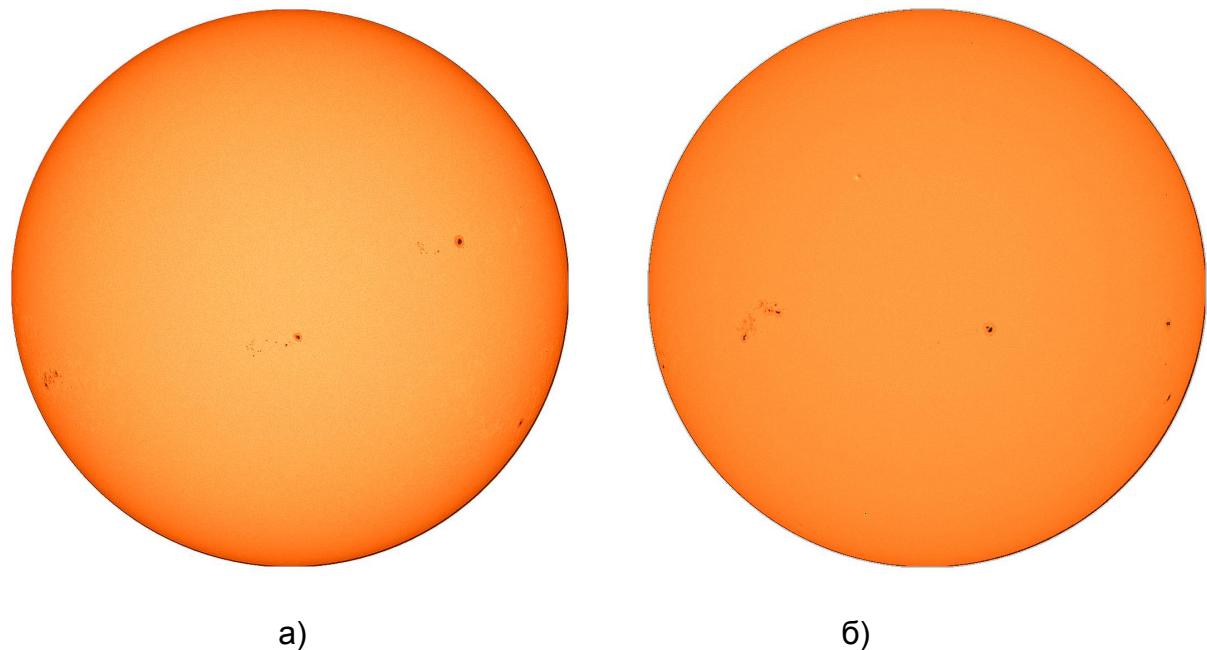


Рис. 3. Изображения солнечного диска: а) HMI SDO 13.09.24 г., б) PHI Solar Orbiter 13.09.24 г.

При определении чисел Вольфа нами использовалась формула вычисления относительных чисел солнечных пятен, принятая в американской службе Солнца SWPC

$$W = k(10G + N) \quad (1)$$

где W - число Вольфа, G - число групп пятен, N - число пятен и k - коэффициент, определяемый методом наблюдений, инструментом и особенностями наблюдателя [Ю.И.Витинский, 1986].

В число пятен включались одиночные пятна с развитой полутенью, все поры, мелкие пятна, ядра внутри общей полутени и куски полутени в группах пятен. Для более точной идентификации групп пятен

отслеживалась по мере возможности миграция активных областей из-за восточного лимба и обратно за западный лимб. В результате был получен ряд относительных чисел солнечных пятен с 22 апреля по 23 сентября 2024 г. для обратной стороны Солнца. За этот период на обратной стороне Солнца наблюдались 162 группы пятен, в то время как на видимой - 200 групп. Среднее значение относительного числа солнечных пятен составило 109,26 против 170,07 для ряда SWPC. Такое заметно меньшее значение можно объяснить тем фактом, что разрешение инструмента PHI Solar Orbiter уступает разрешению телескопов наземных солнечных обсерваторий и поэтому многие поры и мелкие пятна, видимые в наземных наблюдениях как отдельные элементы, на изображениях с КА сливаются вместе. Исходя из этого, мы определили "фактор наблюдателя" в формуле (1) $k = 1,56$. Ряды относительных чисел солнечных пятен по данным SWPC, исправленных на коэффициент k данных PHI Solar Orbiter, а также вычисленные числа Вольфа для всей поверхности Солнца приведены на Рис. 4.

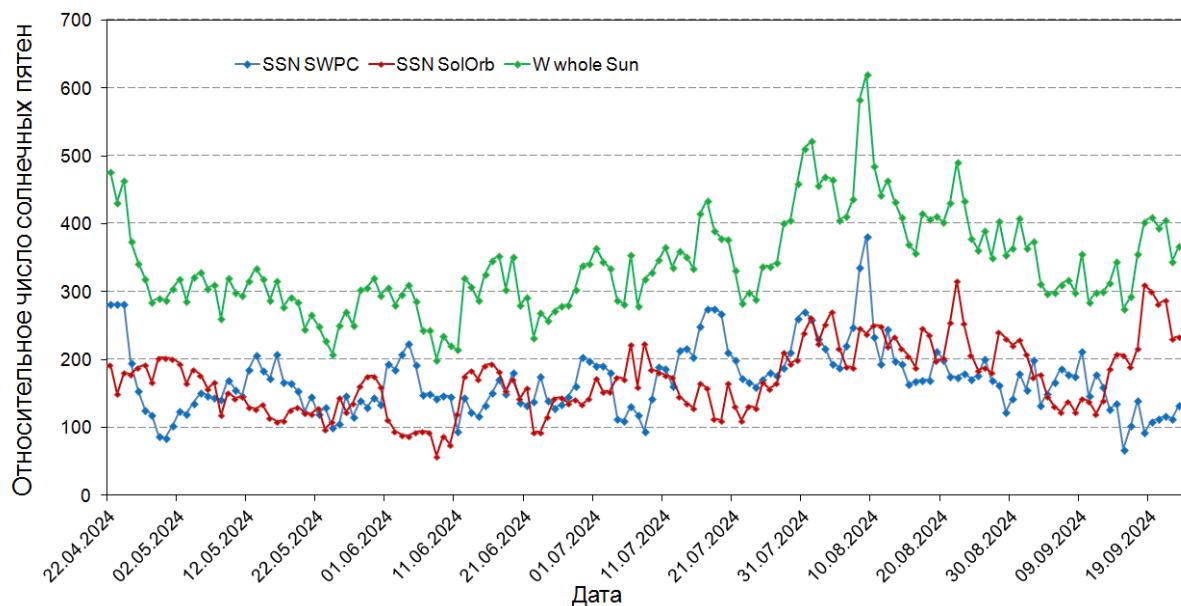


Рис. 4. Относительные числа солнечных пятен SWPC, PHI Solar Orbiter и числа Вольфа для всего Солнца за период 22.05.24 г. - 23.09.24 г.

Предварительный анализ полученных данных показывает примерно одинаковый временной тренд числа пятен в рядах SWPC и PHI Solar Orbiter, в то же время можно видеть сдвиг локальных максимумов в этих рядах относительно друг друга на большей части периода наблюдений, что скорее всего объясняется перемещением неравномерно расположенных по поверхности Солнца групп солнечных пятен вследствие его вращения. Также стоит отметить высокий уровень пятнообразовательной активности Солнца в интервале с 25 июля по 2 сентября, который более явно выражен

для ряда чисел Вольфа всего Солнца. В этот период времени вариации числа солнечных пятен для обеих полусфер практически одинаковы, что свидетельствует о высоком уровне солнечной активности, охватывающем все Солнце в целом.

ВЫВОДЫ

Основной задачей настоящей работы было показать возможность получения индекса пятнообразовательной активности Солнца по всей его поверхности. В рамках этой задачи была разработана методика обработки изображений телескопа PHI Solar Orbiter с целью определения относительных чисел солнечных пятен в период нахождения КА Solar Orbiter практически на противоположной стороне Солнца относительно Земли. В результате был получен непрерывный ряд числа пятен с 22 апреля по 23 сентября 2024 г. (155 дней, 5,6 кэррингтоновских оборотов) для обратной стороны Солнца и определен ряд чисел Вольфа для всей поверхности Солнца. Предварительный анализ результатов показал хорошую совместимость полученных данных с рядом относительных чисел солнечных пятен из американской службы Солнца SWPC. Эти данные могут быть полезны при изучении глобальной динамики пятнообразовательной активности Солнца на временных периодах порядка кэррингтоновского оборота и меньше.

Вместе с тем на первом этапе работы были сделаны некоторые допущения, которые необходимо устраниить в дальнейшем. Например, в узкой полосе вблизи лимба имело место перекрытие изображений видимой и обратной сторон Солнца, что приводило к двойному учету пятен в этой области. Этот недостаток частично компенсировался тем, что в силу сферичности Солнца подсчет пятен вблизи лимба обычно дает заниженный результат (так называемый эффект видимости). Также для более достоверного разделения близко расположенных групп пятен желательно привлекать магнитограммы, получаемые тем же прибором PHI Solar Orbiter.

Выражаем благодарность сотрудникам NOAA SWPC [www.swpc.noaa.gov], SDO JSOC [sdo.gsfc.nasa.gov], GONG [gong.nso.edu] и научной группы PHI Solar Orbiter [wwwmps.mpg.de/solar-physics/solar-orbiter-phi] за возможность использования данных наблюдений в нашей работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- *Ю.И.Витинский, М.Копецкий, Г.В.Куклин. Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца.* М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 296 с. 1986.
 - *Braun D. C. and Lindsey C. Seismic Imaging of the Far Hemisphere of the Sun* // *Ap. J.* V.560. L189. 2001.
<https://doi.org/10.1086/324323>
 - *S. K. Solanki, J. C. del Toro Iniesta, J. Woch, et al. The Polarimetric and Helioseismic Imager on Solar Orbiter* // *A&A.* V642. A11. 2020.
<https://doi.org/10.1051/0004-6361/201935325>
- <https://www.swpc.noaa.gov>*
- <https://sdo.gsfc.nasa.gov>*
- <https://gong.nso.edu>*
- <https://www.mps.mpg.de/solar-physics/solar-orbiter-phi>*