

ТЕКУЩИЙ 25 ЦИКЛ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В ПРЕДДВЕРИИ ФАЗЫ МАКСИМУМА

Ишков В.Н.

*Институт земного магнетизма и распространения радиоволн
им. Н.В. Пушкова РАН, Москва, Троицк, Россия*

CURRENT 25 CYCLE OF SOLAR ACTIVITY AHEAD OF THE MAXIMUM PHASE

Ishkov V.N.

*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation,
Troitsk, Moscow, Russia*

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-139-144>

Since January 2020, current SC25 have begun, which, according to the development of the first four years and the Gnevyshev-Ol' rule, will be a cycle of medium magnitude. On October 2023, the development of the current 25th solar cycle is approaching the maximum phase, the beginning of which can be expected in October 2023, and the maximum point itself, judging by the development of the rise phase, in June-August 2024 with $W^ = 100 \pm 10$ (165 ± 17 in the V2 system). The minimum of the current cycle should be expected in the first half of 2031. The study of a reliable series of sunspots observations led to the possibility of formulating a scenario for the sustainable development of solar cyclicity over the past ~190 years. It provides for a regular change in the level of sunspot activity in different epochs of solar activity (SA), increased or decreased, with clearly distinguished transition periods, which reflects three different modes of generation of the general magnetic field of the Sun, with a duration of ~5 solar cycles (SC).*

1. Главным результатом исследования достоверного ряда (1849–2015) относительных чисел солнечных пятен является выявленный сценарий устойчивого развития солнечной цикличности, в последние ~190 лет [1]. Данный сценарий предусматривает регулярную смену уровня пятнообразовательной деятельности при переходе от эпох повышенной солнечной активности (СА) к эпохам пониженной и, наоборот, – от пониженной к повышенной с чётко выделяемыми переходными солнечными циклами (СЦ). Этот сценарий требует от моделей пятнообразовательной активности трёх различных режимов генерации общего магнитного поля (МП) Солнца, длительностью ~5 СЦ. Полный цикл осуществления всех 3-х режимов ~130–140 лет. Режим пониженной генерации общего МП Солнца приводит к образованию последовательности низких и средних СЦ, тогда как в режиме повышенной генерации появляются только высокие и средние СЦ. Внутри достоверных эпох сохраняются все наблюдательные закономерности и правила развития СЦ. Развитие прошедшего СЦ24 и начальный этап развития СЦ25 подтверждают, что СА вступила во 2-ую эпоху пониженной СА: последующие 5 СЦ (по сценарию) должны чередоваться и быть

низкой и средней величины и в течение ~ 55 лет мы не будем наблюдать высоких ($W^* > 145$) циклов СА.

2. Текущий СЦ25 начался в январе 2020 г., является 2-м компонентом физического 22-летнего СЦ и по ходу развития (3.8 г.) попадает в семейство СЦ средней величины, что и следует из правила Гневышева-Оля. На рис. 1 дается ход развития текущего СЦ25 в семействе СЦ средней величины.

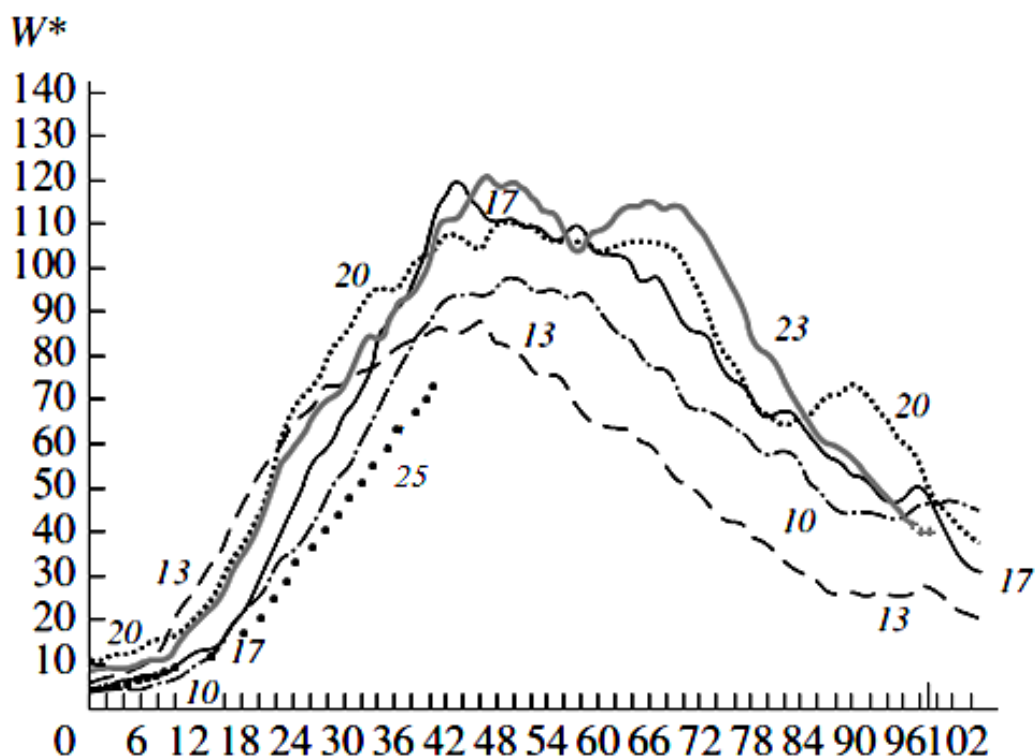


Рис. 1. Ход развития текущего СЦ25 в семействе СЦ средней величины в месяцах после начала циклов.

Особенности развития всех достоверных СЦ средней величины эпох СА было рассмотрено в [2]. За рассматриваемый период СА прошла полуфазу минимума ветви роста, длительность которой составила почти 2 года, что является рекордом для СЦ средней величины. Под фазой минимума здесь понимается интервал времени, когда сглаженные значения относительных чисел солнечных пятен остаются в пределах $W^* \leq 30$. Фаза минимума является общей для текущего и последующего СЦ, однако точку минимума принято относить к завершающемуся СЦ. К ноябрю 2023 г. СЦ25 вплотную приблизился к фазе максимума. Под фазой максимума здесь понимается отрезок времени, когда значения относительного числа солнечных пятен (W^*) находятся в пределах 15% от стандартно сглаженного значения в максимуме цикла ($W^*_{\max}$).

За развитием текущего СЦ можно следить на странице <http://www.izmiran.ru/saf>, где каждый первый понедельник месяца публи-

куются основные индексы солнечной и геомагнитной активности и все изменения в пятнообразовательной и вспышечной деятельности Солнца. Наиболее значимым ожидаемым наблюдательным событием в фазе максимума является процесс переполюсовки общего магнитного поля Солнца. Этот процесс включает в себя последовательную смену знака поля на полюсах Солнца и хорошо определяется по служебным наблюдениям в солнечной обсерватории Wilcox (USA), на котором видно, что процесс переполюсовки в текущем СЦ уже начался в июле 2023 г. с северного полушария и на данный небольшой период (~0.5 г.) Солнце осталось практически без магнитных полюсов, что хорошо видно на рис. 2 (суммарное полярное магнитное поле показывает 0 Гс). Исчезновение полюсов означает, что мы находимся на пороге фазы максимума, которую можно ждать в октябрь-ноябре 2023 г., а саму точку максимума, если судить по динамике развития фазы роста, в июне-августе 2024 г. $W^* = 100 \pm 10$ (165 ± 17 в системе V2). Точку минимума текущего цикла следует ожидать в первой половине 2031.

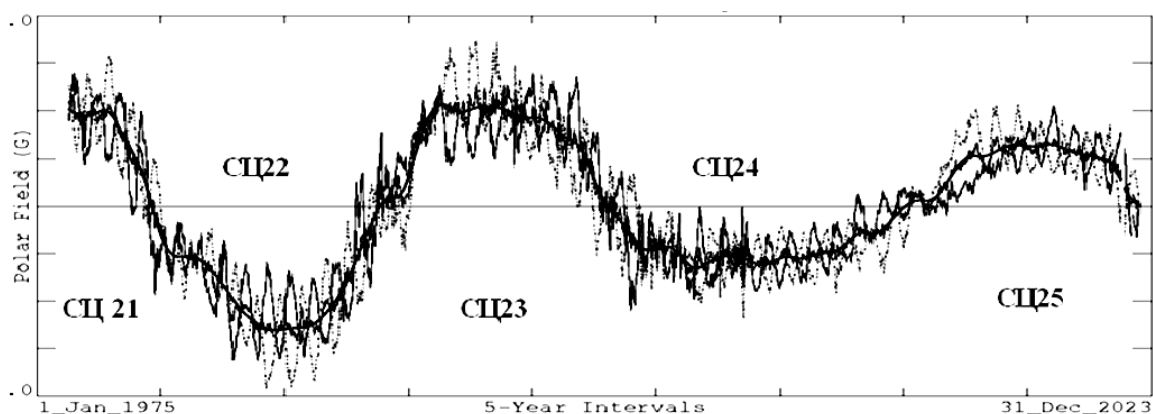


Рис. 2. Вариации полярного магнитного поля 1975–2023 г. на северном полюсе Солнца (тонкая линия), на южном (тонкая точечная линия и суммарное (толстая линия)). [<http://wso.stanford.edu/gifs/Polar.gif>]

Сам процесс переполюсовки общего магнитного поля Солнца происходит в фазе максимума и составляет 5–16 месяцев. В нечётных СЦ 19, 21 и 23 процесс полной переполюсовки происходил быстро: полюсам потребовалось 0.6 ± 1 месяцев, чтобы полностью сменить знак поля на противоположный [3, 4]. В чётных СЦ 20, 22, 24 на это ушло от 13 до 15 месяцев, в результате чего Солнце на какой то период времени (до года) остается без магнитных полюсов. В процессе переполюсовки один полюс переключается раньше другого, и в последних 5 СЦ, кроме СЦ23, это был северный полюс. На некоторое время оба полюса исчезают или на небольшой период магнитное поле Солнца переходит в режим квадруполь (СЦ22). Статистика пока мала (с СЦ19), и детальную картину динамики процесса переполюсовки и зависимости её от характеристик СА можно отслеживать либо по изменениям полярного магнитного поля либо по последовательному смещению поясов солнечных волокон, которые исчезают, достигнув полюсов.

Основной особенностью настоящего периода развития текущего СЦ25 (фаза роста) является достаточно резкое увеличение пятнообразовательной активности после ноября 2022 г. и до настоящего времени: из 718 пятенных активных областей 326 образовалось за этот период.

Однако в третьей декаде октября пятнообразовательная активность также резко упала до очень низкого уровня, и 23–25.10 на видимом диске наблюдалось всего 2 группы пятен по одной на каждое полушарие, что, с большой вероятностью означает, что в настоящее время СА проходит характерный для каждого СЦ, провал Гневышева. Значимый спад пятнообразовательной и вспышечной активности и в это короткое время приводит к еще большему понижению межпланетного поля и способствует повышению фона галактических космических лучей.

Рассмотрим основные характеристики текущего цикла СА после 46 месяцев его развития:

- формальное начало текущего цикла СА январь 2020 г., и начальное значение сглаженного числа Вольфа $W_{\text{мин}}^* = 1.3$ (1.8 в системе V2);

- последняя группа пятен старого цикла (AR12766 в системе службы Солнца NOAA) отмечена в июле 2020 г., в дальнейшем развивался только новый цикл, и в каждом обороте количество активных областей неизменно нарастало [5];

- количество беспятенных дней в полуфазе минимума – 273, что является нормой для СЦ средней величины;

- первые группы пятен текущего цикла появились в северном полушарии (N43) в августе 2017 г., а в южном (S37) только в январе 2018 г., что характерно для большинства достоверных СЦ, за 1–1.5 гг. до точки минимума [5]; первая устойчивая (≥ 7 сут) группа пятен образовалась 24.01.2020, а следующая только 17.10. С 12.04.2021 группы пятен наблюдаются постоянно;

- начало фазы роста – ноябрь 2021 г., когда видимый диск Солнца одновременно проходил сразу 3 активные группы пятен среднего размера с площадями >300 м.д.п.;

- появление первой большой спокойной ($S_p = 1000$ мдп) группы солнечных пятен – ноябрь 2020, а первой очень большой ($S_p \geq 1500$ мдп, северное полушарие Солнца) – начало ноября 2021 года;

- со времени появления групп солнечных пятен с порядком полярности текущего 25 СЦ (август 2017 г.) и до формального начала цикла асимметрии пятнообразовательной деятельности по полушариям практически не было. С началом значимой пятнообразовательной активности (октябрь 2020 г.) активные области южного полушария стали преобладать, но уже к концу 2021 г. стало преобладать северное полушарие [7];

- вспышечная активность находится на уровне, превосходящем СЦ 24 по количеству значимых вспышек, но отстает по количеству мощных, и явно уступает переходному СЦ 23: всего за рассматриваемый период осу-

ществовало 569 значимых солнечных вспышечных событий, из которых 493 были средних классов (M1–M4.9), 56 больших (рентгеновского класса M5–M9.9) и 20 – класса X, большая из которых была рентгеновского класса X2.2. В 2023 г., когда резко увеличилось число вспышечно-активных групп пятен, вспышечных событий средних и больших классов реализовалось 307, 42 и 12, соответственно.

– по количеству солнечных протонных событий с потоками частиц >1 pfu ($E \geq 10$ МэВ) за одинаковый период развития последних 3 циклов, текущий СЦ (38 СПС) идёт на уровне СЦ24 (40) и заметно опережает СЦ23 (24). Это указывает на сохранении во всем 7 физическом СЦ облегчённого выхода протонов во вспышечных событиях.

– сглаженные суточные значения выбросов коронального вещества превышают уровень СЦ24 (4/сут). Их абсолютные величины последние несколько месяцев сравнимы с предыдущими СЦ (около 6/сут) и их средняя фазовая скорость в СЦ 23–25 аналогичны; число и характеристики межпланетных выбросов коронального вещества в SC25 аналогично такому в SC 24, но больше, чем в SC 23 в ~ 2 раза [7].

– в геомагнитном поле зарегистрированы 60 магнитных бурь: 4 больших и 16 умеренных. По современной шкале космической погоды для магнитных бурь [<https://www.swpc.noaa.gov/noaa-scales-explanation>], которая оценивает интенсивность события, в текущем цикле за рассматриваемый период зарегистрировано: магнитных бурь класса G4 – 4, G3 – 5, G2 – 23 и класса G1 – 18. При сравнении СЦ 23–25, текущий 25 является промежуточным вариантом между СЦ 23 и 24, но ближе к СЦ 24, хотя и опережает его по всем проявлениям СА (эпоха пониженной СА!), но значительно меньше, чем СЦ 23 – переходном от эпохи повышенной СА к пониженной. Ap-index достиг своего минимума в апреле 2020 г. через 4 месяца после точки минимума. Самая мощная магнитная буря 3.11. 2021 ($K_p = 8$, $Dst = -105$ нТ), текущий месячный максимум $Ap = 11.8$ нТ – в апреле 2022 г.

Развитие текущего СЦ25 подтверждает продолжающийся наблюдаемый дефицит активных явлений, следствием которого становится значимое уменьшение числа сильных спорадических и рекуррентных геомагнитных и ионосферных возмущений, больших протонных событий, не восстановилась геоэффективность корональных дыр.

Итак, в октябре-ноябре 2023 г., текущий СЦ должен войти в фазу максимума, саму точку максимума, если судить по динамике развития фазы роста, в июне-августе 2024 г. $W^* = 100 \pm 10$ (165 ± 17 в системе V2). Точку минимума текущего цикла следует ожидать в первой половине 2031.

Литература

1. *Ishkov, V.N.* Solar sunspot-forming activity and its development on the reliable Wolf numbers series // in book "Variability of the Sun and Sun-like Stars: from Asteroseismology to Space Weather". eds J.-P. Rozelot, E.S Babaev, EDP Sciences Proceedings. – 2018.

ISBN 978-2-7598-2195-2. p.109-118.

https://international.scholarvox.com/catalog/book/88855582?_locale=en

2. *Ishkov V.N.* Medium-Sized Solar Cycles in Different Epochs of Solar Activity // Geomagnetism and Aeronomy, 2023, Vol. 63, No. 7, pp. 162–168.
DOI: 10.1134/S0016793223070101. ISSN 0016-7932,
3. *Nagashima et al.* Galactic cosmic-ray anisotropy and its heliospheric modulation, inferred from the sidereal semidiurnal variations observed in the rigidity range 300–600 GV with multidirectional muon telescope at Sakashita underground station 1991 // Planetary and Space Science 39(12):1637-1655, DOI:10.1016/0032-0633(91)90025-6
4. *Ishkov, V.N.* Properties of the current 23rd solar-activity cycle // Solar System Research. 2005. T. 39. № 6. С. 453-461. (2)
5. *Harvey K.L. et al.* // Solar-Terrestrial Prediction, **5**, 77
6. *Язев С.А., Исаева Е.С. Хос-Эрдэнэ Б.* 25-й цикл солнечной активности: первые три года // Солнечно-земная физика, 2023, 9, №3, с 5-11
7. *Gopalswamy N. et al.* What Do Halo CMEs Tell Us about Solar Cycle 25? // The Astrophysical Journal Letters, 2023, 952:L13 (8pp), DOI 10.3847/2041-8213/acdde2