

СОЛНЕЧНЫЕ ЦИКЛЫ СРЕДНЕЙ ВЕЛИЧИНЫ В РАЗНЫЕ ЭПОХИ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Ишков В.Н.

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

MEDIUM-SIZE SOLAR CYCLES DURING DIFFERENT EPOCHS OF SOLAR ACTIVITY

ISHKOV V.N.

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

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). Since January 2020, current SC25 have begun, which, according to the development of the first three years and the Gnevyshev-Ol' rule, will be a cycle of medium magnitude. Therefore, it becomes possible to study the characteristics, reliable SC of different SA epochs. Here we consider a family of medium-size SCs: decreased (SC13, 15, 25), increased (10, 20) and transitional periods between epochs (17, 23).

DOI: 10.31725/0552-5829-2022-135-138

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), длительностью ~5 СЦ. Полный цикл осуществления всех 3-х режимов ~120–130 лет. Режим пониженной генерации МП 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 должны быть низкой и средней величины. Текущий СЦ25 начался в январе 2020 г. и по ходу развития (2.8 г.) попадает в семейство СЦ средней

величины, что и следует из правила Гневнышева-Оля. Поэтому становится актуальным исследовать характеристики средних СЦ различных эпох СА. В то же время, СЦ8 и 9, примыкающие к достоверным и не противоречащие основным характеристикам СЦ достоверного ряда, можно использовать для ограниченного круга задач как условно достоверные, увеличив тем самым статистику достоверных циклов до 17 (~190 лет). Особенности развития всех достоверных СЦ в фазах минимумов было рассмотрено в [2]. Здесь же будет уделено внимание именно СЦ средней величины. Таблица представляет основные характеристики всех достоверных рассматриваемых СЦ по эпохам СА.

Таблица.

N	T ₀	W [*] _m	T _M	T _e	W [*] _M	T _Y ↑	T _Y ↓	T _Y	T1 _m	T2 _m	Sp _{less}
9	1843 08	10.5	1848 02	1855 12	131.6	4.6	7.8	12.4			
10	1855 12	3.2	1860 02	1867 02	97.9	4.2	7.2	11.4	3.2	2.8	402
20	1964 10	9.6	1968 09	1976 06	110.6	4.1	7.7	11.8	3.2	5.75	269
13	1890 03	5.0	1894 01	1901 02	87.9	4.5	7.2	11.7	3.9	4.75	937
15	1913 08	1.5	1917 08	1923 07	105.4	4.0	6.1	10.1	3.9	4.0	526
25	2020 01	1.3	2023 04	2031 01	~100	4.3	7.0	11.8	2.9	4.7	833
<u>17</u>	<u>1933 09</u>	<u>3.4</u>	<u>1937 04</u>	<u>1944 01</u>	<u>119.2</u>	<u>3.6</u>	<u>6.9</u>	<u>10.5</u>	<u>4.5</u>	<u>2.75</u>	<u>262</u>
<u>23</u>	<u>1996 06</u>	<u>8.0</u>	<u>2000 04</u>	<u>2008 12</u>	<u>120.7</u>	<u>3.8</u>	<u>8.9</u>	<u>12.7</u>	<u>3.3</u>	<u>5.7</u>	<u>821</u>
Σ		5.1			107	4.0	7.4	11.4	4.0	4.6	536

T₀ – начало СЦ; W^{*}_m – начальное значение сглаженных чисел Вольфа; T_M – максимум СЦ; T_e – конец СЦ; W^{*}_M – максимальное значение сглаженных чисел Вольфа; T_Y↑ – длительность ветви роста в годах; T_Y↓ – длительность ветви спада; T_Y – длительность СЦ; T1_m, T2_m – длина фазы минимума перед фазой роста и после фазы спада данного СЦ; Sp_{less} – количество беспятенных дней в соответствующих фазах минимумов; Σ – средние величины по всем эпохам; курсив жирный – условно достоверный СЦ9; курсив – прогнозируемые значения.

2. По длительности все достоверные СЦ можно разделить на два класса. В 1-ый класс входят СЦ, продолжительность (ΔT) которых превышает 11.4 года (средняя ΔT~11.92 года) – длительные СЦ. Во 2 класс вошли СЦ, ΔT которых значительно меньше 11 лет [8]. Надо иметь в виду, что начиная с СЦ 15 (т.е. практически весь XX век), исключая СЦ20 и 23, ΔT циклов СА была в среднем 10.2 года. Тот факт, что СЦ 15 и 16 – последние СЦ 1-ой эпохи пониженной СА, были значимо короче предыдущих трёх, может говорить о более длительной (~1.5 цикла) подготовке перехода (СЦ17) к эпохе повышенной СА. За всё время достоверных наблюдений осуществилось 7 полных СЦ среднего размера и один СЦ25 в развитии. Выделим основные общие параметры и различия в их характеристиках как в полном семействе средних циклов, так и по эпохам. Разброс W^{*}_m – начальных значений сглаженных чисел Вольфа у всего семейства довольно значителен (в три раза) от 1.3 г. в текущем СЦ25 до 9.6 в СЦ20 единственном СЦ сред-

ней величины 2-ой эпохи повышенной СА и 10.5 г. в СЦ9. Для СЦ 1-ой эпохи пониженной СА та же картина: разброс W^*_m тоже в ~ 3 раза, но на более низких значениях (см. таблицу). Переходные СЦ (с учётом высокого СЦ11) имеют ту же тенденцию на $\sim$ средних значениях. Ветви роста практически одинаковые для всех эпох СА (~ 4.3 г.), хотя для всех СЦ переходных периодов они устойчиво короче (~ 3.5 г.). Ветви спада для эпох повышенной и пониженной эпох СА примерно 7.7 ± 0.5 г., но в СЦ15 её длительность составила 6.1 г.

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. В данной работе мы будем различать временные отрезки фазы минимума от начала цикла до точки $W^* = 30$ – фаза минимума ветви роста ($T1_m$), и фазы минимума после максимума цикла от точки $W^* = 30$ и до конца СЦ – фаза минимума ветви спада ($T2_m$).

Из рис. 1 следует, что по длительности фазы минимума ветви спада все достоверные СЦ распадаются на 2 группы: к 1-ой группе достоверных СЦ, относятся все циклы XIX века (СЦ 12–15) и СЦ 20 и 23, с длительностью спада W^* ($39+8/-5$) мес. По принадлежности к эпохам СЦ 1-ой группы распределились следующим образом: 4 из них составляют СЦ 1-ой эпохи пониженной СА (12–15); 1 (из трёх) является СЦ переходных периодов (и 23), который осуществлял перестройку общего магнитного поля к эпоху пониженной СА и СЦ средней величины эпохи повышенной СА (20). В то же время основной особенностью СЦ 20 и 10 эпох повышенной СА, является **затянутая фаза спада до начала фазы минимума** и короткая сама фаза минимума (19 и 20 мес.) и это характерная черта всех СЦ эпох повышенной СА.

Вторую группу составляют СЦ длительностью ≤ 10.5 г. (125 мес) и характерным временем минимума спада ($13+10/-3$) мес, в которую входят все высокие СЦ(18–22 без СЦ 20) эпохи повышенной СА, СЦ16 из первой

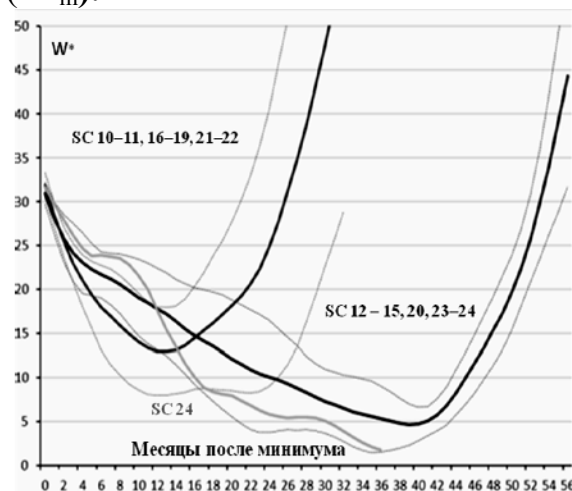


Рис. 1. Распределение длительности фаз минимума достоверных СЦ. Левая жирная кривая для СЦ эпох повышенной СА (10, 18–19, 21–22) переходного к повышенной СА (11) и СЦ16. Правая жирная кривая для СЦ эпох пониженной СА (12–15, 24), переходного к эпохе пониженной (23) и среднего СЦ эпохи повышенной СА. Жирная серая отдельная кривая – СЦ24. Преобразованный рисунок из <http://users.telenet.be/j.janssens/SC24web/SC24.html#SC2425minimum>

эпохи пониженной СА и переходной СЦ 17 от эпохи пониженной к повышенной СА.

Сроки начала следующего СЦ, в основном определяются высотой (strength) нового СЦ: более активные (высокие) циклы, как правило, начинают свой рост раньше (через 8 – 15 мес.), хотя было два заметных исключения: СЦ 17 и 22 – оба, один полностью и один частично, приходятся на периоды перестройки общего магнитного поля Солнца к новым эпохам.

Различие эпох СА отразилось и в количестве беспятенных дней на видимом диске Солнца в фазах минимумов СЦ. Однако прямой прогностической связи между количеством беспятенных дней и характеристиками последующего СЦ выявить не удалось. Из рис. 2 видно, что для циклов эпох повышенной СА средние значения количества беспятенных дней (~300) резко отличаются от СЦ эпох пониженной СА (~800). В 1-ых, их количество изменяется от 221 в СЦ19 до 444 в СЦ18, а в последних они изменяются от 526 в СЦ15 до 1045 в СЦ14.

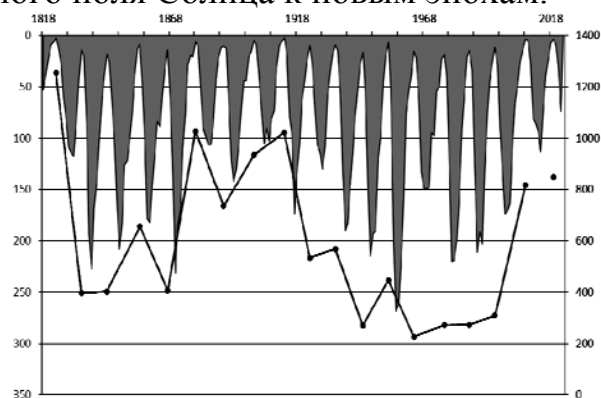


Рис. 2. Количество беспятенных дней (полное число за обеих фаз минимумов) по данным

<https://wwwbis.sidc.be/silso/spotless>. Правая ось ординат W^* , левая – число беспятенных дней. Точки поставлены в точках минимумов соответствующих СЦ.

3. Не обнаружено принципиальных различий в физических и статистических характеристиках средних СЦ в зависимости от эпох СА – мала статистика. Уровень фонового общего МП с большой вероятностью определяет высоту СЦ и средние СЦ эпохи пониженной СА – возможный аналог высоких циклов эпохи повышенной СА.

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.

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. *Ишков В.Н.* Текущий 24 цикл солнечной активности в фазе минимума: предварительные итоги и особенности развития // Косм. исслед, 2020, том 58, № 6, с. 471–478, DOI: 10.31857/S0023420620060060