

ДВЕ ПОПУЛЯЦИИ ГРУПП СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН И ПРАВИЛО ГНЕВЫШЕВА-ВАЛЬДМАЙЕРА

Наговицын Ю.А.^{1,2}

¹Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия

²Государственный университет аэрокосмического приборостроения,
Санкт-Петербург, Россия

TWO SUNSPOT GROUP POPULATIONS AND THE GNEVYSHEV-WALDMEIER RULE

Nagovitsyn Yu.A.^{1,2}

¹Central Astronomical Observatory of RAS, St. Petersburg, Russia

²State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russia

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-235-238>

A procedure for randomizing the observed lifetimes of sunspot groups produced once a day is proposed. It allows for statistical studies to achieve a better time resolution. The form of the Gnevyshev-Waldmeier Rule linking the logarithm of the area and the lifetime of a group of sunspots is substantiated. This linear form has coefficients that differ significantly for small short-lived SSG and large long-lived LLG groups of spots. The value of the group lifetime parameter separating populations distributed lognormally as $LT^ = 5.57 \pm 0.27$ has been clarified. It is shown that the parameters of the lognormal distributions of populations obtained from the common distribution of $\log S$ and with a preliminary division into populations by LT^* correspond to each other.*

Свойство солнечной пятнообразовательной деятельности, связывающее время жизни и максимальную достигаемую площадь группы солнечных пятен, было выведено М.Н. Гневышевым (1938). На него было обращено внимание в широко известной монографии М. Вальдмайера (1941), после чего оно стало называться правилом Гневышева-Вальдмайера (ПГВ). В работах Наговицына с соавторами (2019) и Тлатова (2023) было показано, что это правило не имеет универсального характера в зависимости от рассматриваемых диапазонов площадей групп пятен, а также (в последнем случае) пятен и пор.

С другой стороны, в настоящее время развивается идея о существовании на Солнце двух популяций групп пятен. Показано, что популяции различаются по целому ряду свойств: (логнормальному) распределению площадей, магнитных полей, вращению, зависимостью от фазы цикла и пр. В работах Наговицына и Певцова (2016) показано, что площади популяций распределены билонормально, так что параметром разделения является время жизни группы: $LT \leq 5$ дней для популяции мелких короткоживущих пятен SSG и $LT \geq 6$ дней для крупных долгоживущих групп LLG. Этот вывод сделан по синоптическим наблюдениям с временным разрешением 1 день.

Наговицын и Певцов (2021) предложили метод рандомизации точности при ее ограничении наблюдениями (1 мдп.). А именно, наблюдаемая площадь S_0 заменяется в гистограмме величиной $S = S_0 + RND_1 - 0.5$, где RND – случайная функция, равномерно распределенная на интервале $[1, 0]$. В нашей работе мы применяем эту же идею для рандомизации времени жизни LT групп. На рисунке 1 приведена зависимость логарифма площади групп от времени жизни в двух вариантах: до и после рандомизации S и LT . Использованы гринвичские данные 1874–1976 гг. При вычислении площадей групп применялся подход «образующих» («generative») индексов по Наговицыну и др. (2021).

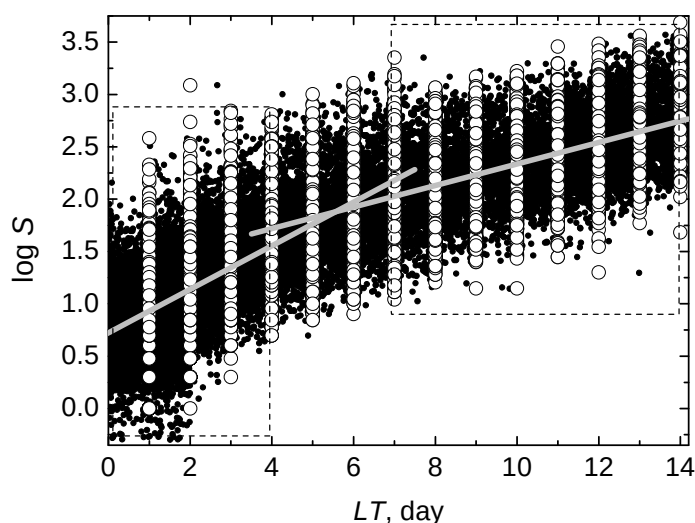


Рис. 1. Зависимость логарифма площади от времени жизни группы. Светлые крупные кружки – до рандомизации, малые черные – после. Серые линии – регрессии, полученные по областям, обозначенным пунктирами.

Уточним значение LT , разделяющее популяции (на два логнормальных распределения). Аппроксимируем зависимость $\log S = f(LT)$ для $LT \leq 4$ и $LT \geq 7$ дней отдельно линейными функциями $\log S = a + b \cdot LT$. Получаем

$$a_{SSG} = 0.7233 \pm 0.0060; \quad b_{SSG} = 0.2079 \pm 0.0030$$

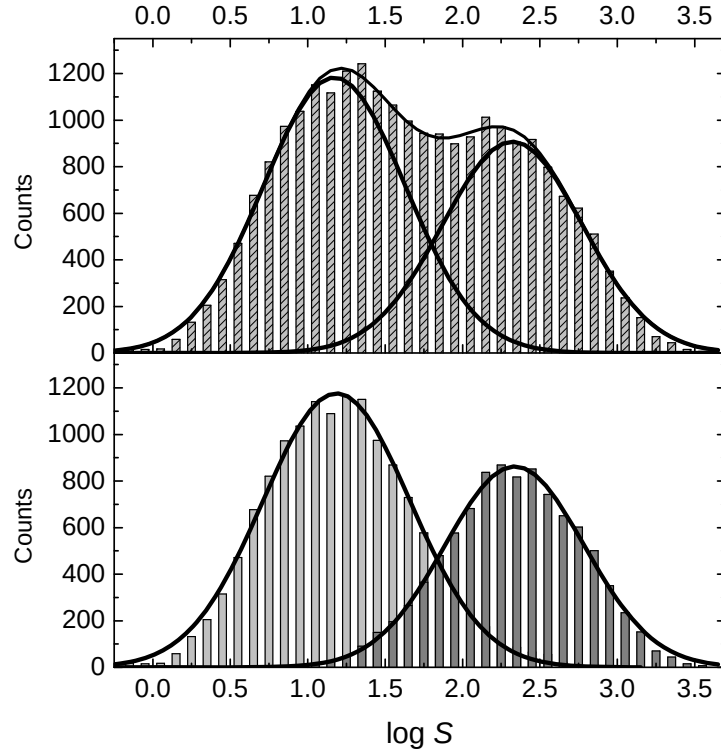
$$a_{LLG} = 1.309 \pm 0.020; \quad b_{LLG} = 0.1027 \pm 0.0018$$

Мы видим, что наклоны прямых для SSG и LLG отличаются друг от друга более чем на 2 десятка сигм. Значение абсциссы пересечения прямых – т.е. время жизни, по которому популяции разделяются – $LT^* = 5.57 \pm 0.27$ дней. Это значение соответствует результату, полученному Наговицыным и Певцовым (2016, 2021), уточняя его до долей дня.

Мы нашли уточненное значение времени жизни групп пятен, разделяющее их на SSG и LLG популяции. Рассмотрим теперь соответствие друг другу двух способов получения их распределений из группированных выборок экспериментальных данных. Первый – когда мы имеем общее распределение логарифмов наблюдаемых площадей и аппроксимируем его методом Левенберга-Марквардта (1944, 1963) двумя гауссианами (без

предварительного разделения по времени жизни). Второй – мы вначале разделяем конкретные группы пятен по времени жизни $LT^* = 5.57 \pm 0.27$ дней, и затем каждую популяцию аппроксимируем гауссианой.

Рис. 2. Разделение группированных выборок логарифма площадей групп пятен (бин = 0.1) на популяций, полученное по общему распределению $\log S$ (сверху) и с предварительным разделением на популяции (снизу) по параметру $LT^* = 5.57 \pm 0.27$ дней. Параметры гауссиан приведены в таблице ниже.



Результаты приведены на рисунке 2 и в таблице. В последней представлены параметры гауссиан $f(\log S) = \frac{A_{1,2}}{\sqrt{\pi/2} w_{1,2}} e^{-\frac{2(\log S - x_{1,2})^2}{w_{1,2}^2}}$, где x – среднее, w – удвоенное среднеквадратическое отклонение, A – объем группированной выборки. Последний столбец таблицы – наблюдаемая t -статистика Стьюдента для сравнения параметров, найденных двумя способами.

Таблица.

Параметр	Без разделения по времени жизни	С разделением по времени жизни $T^* = 5.57^d$	t_{obs}
x_1	1.172 ± 0.019	1.1864 ± 0.0063	0.719
w_1	0.918 ± 0.029	0.951 ± 0.013	1.038
A_1	1360 ± 54	1403 ± 16	0.763
x_2	2.322 ± 0.025	2.3362 ± 0.0053	0.556
w_2	0.903 ± 0.037	0.899 ± 0.011	0.104
A_2	1028 ± 54	972.9 ± 9.8	1.004

Можно сделать вывод, что оба способа нахождения параметров логнормальных распределений площадей групп пятен не противоречат друг другу: гипотеза о различии каждого из параметров гауссиан, полученных двумя способами, отвергается на 5%-м уровне значимости.

Таким образом, в работе получены следующие результаты.

Предложена процедура рандомизации наблюдаемых времен жизни групп солнечных пятен, производимых 1 раз в сутки, позволяющая при статистических исследованиях достигать большего временного разрешения.

Обоснована форма Правила Гневышева-Вальдмайера, связывающая $\log S$ и время жизни группы солнечных пятен LT . Линейная форма $\log S = a + b \cdot LT$ имеет коэффициенты, значимо различающиеся для мелких короткоживущих SSG и крупных долгоживущих LLG групп пятен. Такое различие может свидетельствовать в пользу ранее сделанного нами предположения о разной локализации областей генерации пятенного магнитного потока для LLG и SSG популяций: в тахоклине (глубинной области) и лептоклине (приповерхностной) соответственно.

Уточнено значение параметра времени жизни группы, разделяющее популяции, распределенные логнормально, как $LT^* = 5.57 \pm 0.27$, что находится в согласии с пороговыми значениями, полученными ранее Наговицыным и Певцовым (2016, 2021) для суточной скважности: $LT_{SSG} \leq 5$ дней и $LT_{LLG} > 5$ дней.

Показано, что параметры логнормальных распределений популяций, полученные по общему распределению $\log S$ и с предварительным разделением на популяции по LT^* , соответствуют друг другу.

Литература

1. Gnevyshev M.N. // Pulkovo obs. circ., 1938, **27**, 37.
2. Levenberg K. // Quarterly of Applied Mathematics, 1944, **2**, 164.
3. Marquardt D. // SIAM Journal on Applied Mathematics, 1963, **11**, 431.
4. Nagovitsyn Yu.A., Pevtsov A.A. // Astrophysical Journal, 2016, **833**, 94.
5. Nagovitsyn Yu.A., Ivanov V.G., and Osipova A.A. // Astron. Lett., 2019, **45**, 694.
6. Nagovitsyn Yu.A., Pevtsov A.A. // Astrophysical Journal, 2021, **906**, Issue 1, id.27, 7 pp.
7. Nagovitsyn Yu.A., Osipova A.A., Nagovitsyna E.Yu. // Solar Physics, 2021, **296**, Issue 2, article id.32.
8. Tlatov A. // Solar Physics, **298**, Issue 7, article id.93
9. Waldmeier M. Ergebnisse und Probleme der Sonnenforschung. (Leipzig: Becker and Erler kom.-ges., 1941).