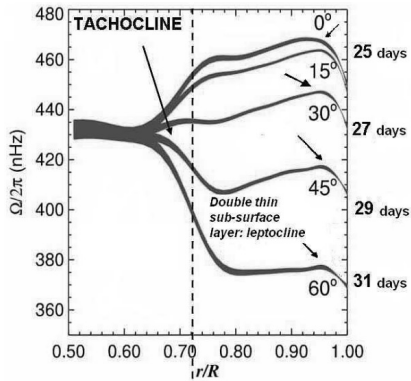
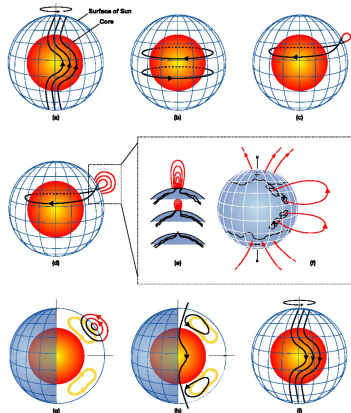


Две популяции солнечных пятен

Осипова Александра Анатольевна

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

31 мая 2017



Крупные пятна формируются в основании конвективной зоны, мелкие — в подповерхностном слое.

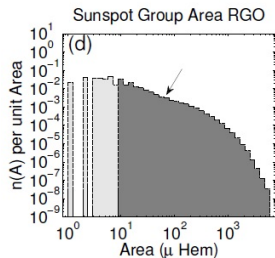
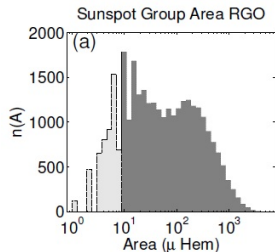
Две зоны пятнообразования \Rightarrow два разных механизма \Rightarrow пятна в зависимости от места образования имеют разные характеристики.

Распределение пятен по площадям

Разделение пятен по размерам может быть произвольным:

- граничные площади (например, Javaraiah, Obridko & Badalyan);
- магнитная структура (Kilcik et al.).

Ряд работ не нашли бимодальности.



Две популяции пятен: история

Куклин Г.В. (1970-е годы):

Популяция I — основная масса пятен (биполярные и мультиполярные группы средней и большой мощности)

Популяция II — преимущественно мелкие ($S < 20$ м.д.п.) и одиночные пятна

Ввёл обобщённый индекс мощности, определяющий соотношение численностей двух популяций групп пятен: в эпоху максимума векового цикла (≈ 80 лет) доминирует I популяция, доля II популяции преобладает в эпохи минимума.

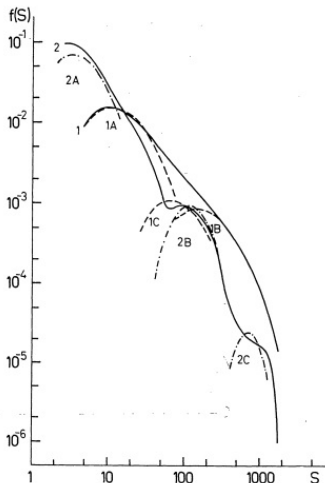


Fig. 12. The results of the approximation of distributions of populations I and II with the help of the logarithmic-normal distribution combination describing subpopulations. The solid lines — the populations I and II, the dashed and dash-dot lines — the subpopulations.

Две популяции пятен: история

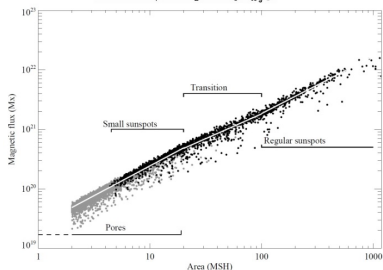
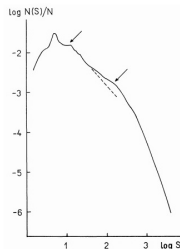
Дмитриева и др. (1968, 1971):

8–13 м.д.п. — образование мелких пятен на стыке трёх супергранул

130–150 м.д.п. — примерный размер супергранулы

Певцов и Тлатов, 2014:

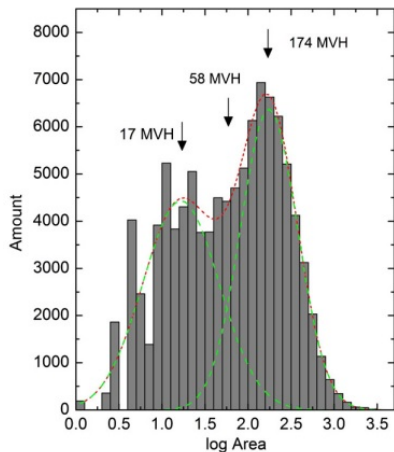
обычные пятна больше 100 м.д.п.,
переходные 20–100 м.д.п.,
мелкие < 20 м.д.п. — разные стадии формирования пятна.



Две популяции пятен: последние работы

Nagovitsyn et al., 2012:

постепенное снижение среднего значения и циклические изменения максимальной НМП (Penn & Livingston, 2006, 2011) — изменение со временем вклада пятен разных размеров в СА.



Две популяции пятен: последние работы

Miñoz-Jaramillo et al., 2015:

- распределения площадей и магнитного потока

- пятен, групп пятен и активных областей

Логнормальное распределение — вклад крупных структур, зависит от уровня активности, меняется с 11-летним циклом СА.

Распределение Вейбулла — вклад мелких структур. В минимуме 11-летних циклов СА активность связана в основном с мелкими пятнами, их вклад от уровня активности не зависит.

Разделение по потоку 10^{21} Мкс.

Аналогично Baumann & Solanki, 2005 не рассматривали мелкие пятна.

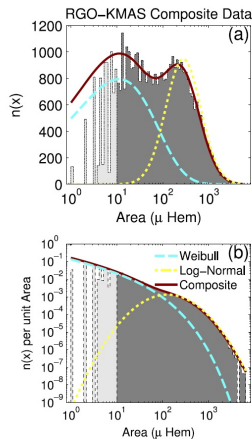
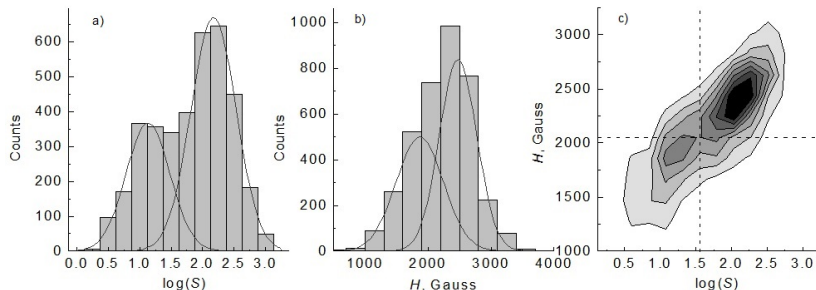


Figure 4. (a) Histogram using logarithmic binning of RGO/KMAS data. (b) Empirical PDF of RGO/KMAS data. Both represent different ways of looking at the same data, and both panels are overplotted with the same fit using a linear combination of Weibull (dashed blue line) and log-normal distributions (dotted yellow line). The composite fit is shown as a solid dark red line. Both panels include all data in the set, but only data shown in a dark shade are included in the fit.

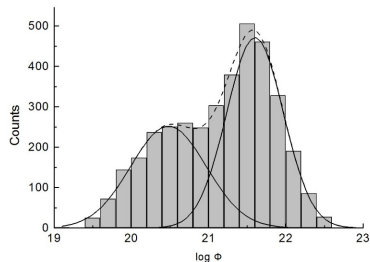
Две популяции: распределения характеристик



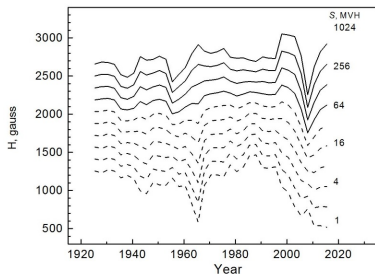
Гистограммы встречаемости значений логарифма площади (а) и напряжённости магнитного поля пятен (б). (с) — двумерная гистограмма встречаемости в осях $H - \lg S$.

Разделение популяций:
 $\log_{10} S = 1.6$ (40 м.д.п.)
 $H = 2050$ Гс
 $\Phi = 10^{21}$ Мкс

Две популяции: распределения характеристик

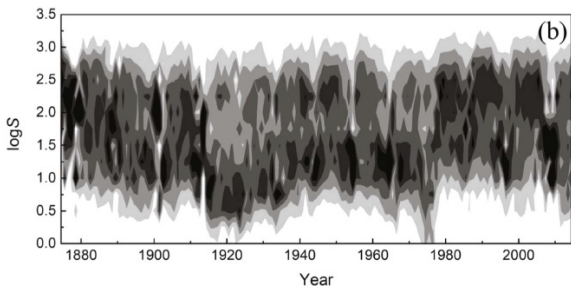
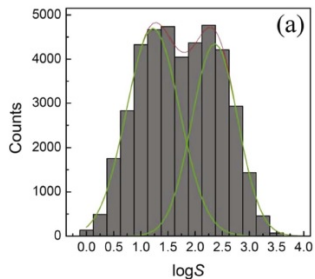


Гистограмма встречаемости значений магнитного потока пятен.
 $k = 0.997$.



Средние изменения напряженности магнитного поля пятен разной площади.

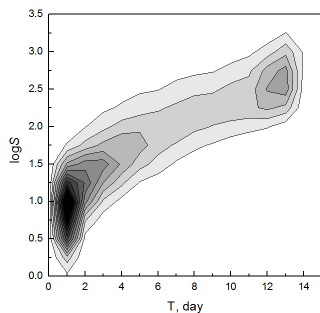
Разделение групп пятен на популяции: T_{life}



(a) Гистограмма встречаемости логарифмов максимальных площадей групп пятен (RGO 1874–1976, KMAS 1977–2014). Пики: 17 и 316 м.д.п., $k = 0.9987$

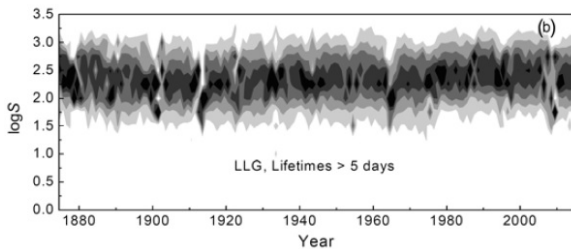
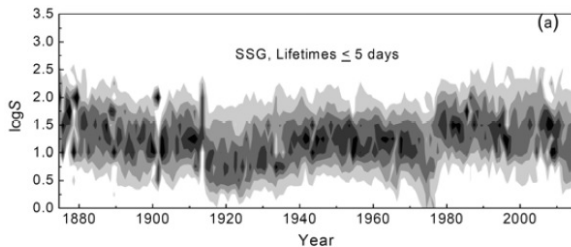
(b) 2D PDF с годичным шагом для тех же данных.

Разделение групп пятен на популяции: T_{life}

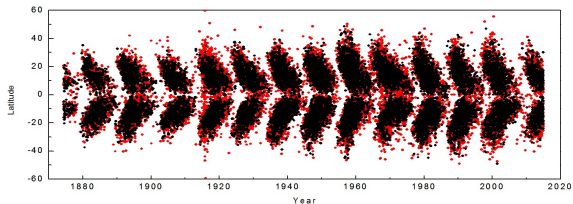


SSG := Small Short-living Groups
LLG := Large Long-living Groups

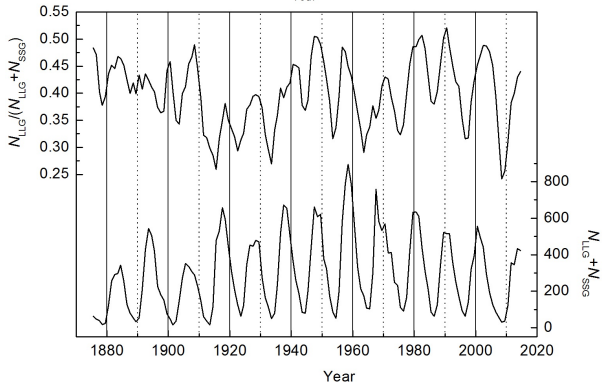
\bar{S}_{SSG} изменяется до 10 раз
с $P \sim 60$ лет



Бабочки Маундера и относительная доля популяций



SSG — более широкие бабочки, около минимума у экватора доминируют.

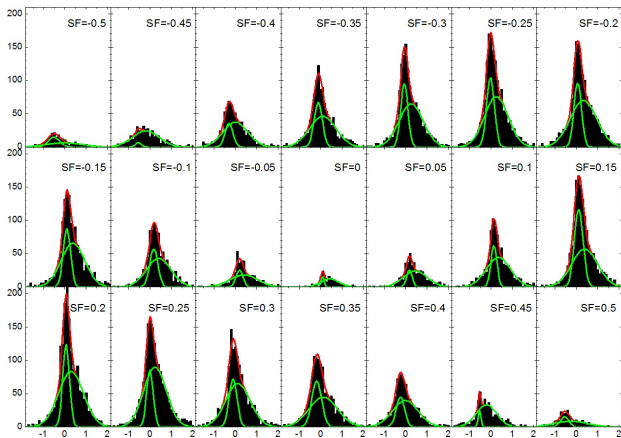


Доля LLG изменяется с фазой 11-летнего цикла.

∃ длительное изменение с $P \sim 60$ лет, синфазное с \bar{S}_{SSG} .

В 8 циклах из 12 (67%) максимум позже на несколько лет.

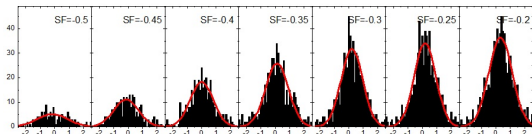
Дифференциальное вращение для двух популяций



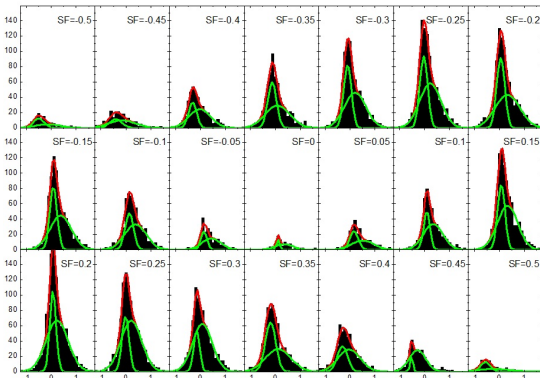
$$\omega = A + B \sin^2 \phi$$

A — экваториальная
скорость,
 B —
дифференциальность
вращения.

Дифференциальное вращение: две моды LLG



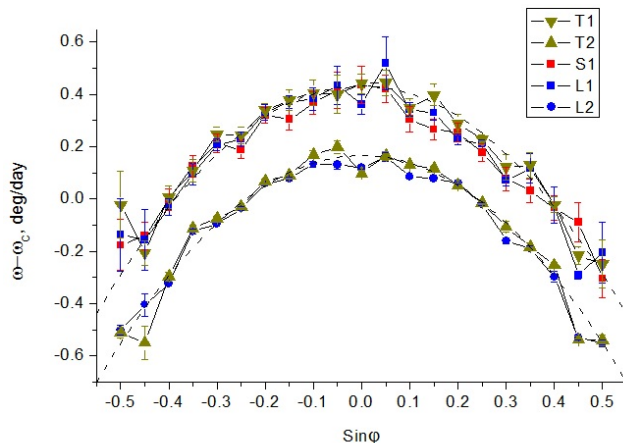
SSG, одна гауссиана.



LLG, две гауссианы.

Две моды: быстрая (совпадает с SSG) и медленная.

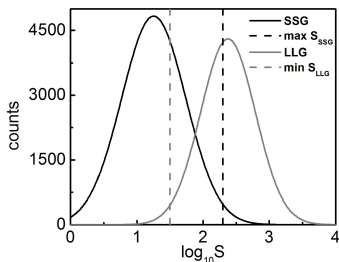
Две системы дифференциального вращения



$$\omega_{T_1} = (0.432 \pm 0.013) - (2.88 \pm 0.13) \sin \phi,$$
$$\omega_{T_2} = (0.1659 \pm 0.0039) - (2.869 \pm 0.043) \sin \phi$$

Дифференциальность совпадает с высокой точностью, экваториальная скорость различается на десятки сигм.

Модификация критерия разделения популяций



Вероятностный подход:

$$p = \frac{y_1}{y_1 + y_2}$$

Уровень значимости 10% \Rightarrow

$\min S_{LLG} = 32$ м.д.п.,
 $\max S_{SSG} = 200$ м.д.п.

Итоговые критерии разделения:

Группа относится к **SSG**, если

$$(T < 6 \text{ и } S \leq 200)$$

или

$$(T \geq 6 \text{ и } S < 32)$$

Группа относится к **LLG**, если

$$(T \geq 6 \text{ и } S \geq 32)$$

или

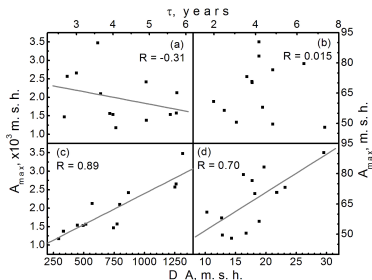
$$(T < 6 \text{ и } S > 200)$$

Правило Вальдмайера для двух популяций пятен

Классическое (ПВ1): $W_{max} \propto \tau$, где $\tau = t_{max} - t_{min}$ — длина ветви роста цикла СА

Модифицированное (ПВ2): $W_{max} \propto \max W'(t)$

4 ряда индексов СА: *all A*, *max A*, *all G*, *max G*



		ПВ1		ПВ2	
		LLG	SSG	LLG	SSG
A	<i>all</i>	-0.31	0.015	0.89	0.7
	<i>max</i>	0.1	-0.46	0.48	0.58
G	<i>all</i>	-0.44	-0.44	0.92	0.81
	<i>max</i>	-0.42	-0.49	0.9	0.83

В значимых случаях LLG показывает более тесную связь между характеристиками фазы роста цикла СА и его значением в максимуме.

Заключение

- Характеристики солнечных пятен показывают бимодальное распределение. Центральная напряжённость магнитного поля распределена бинормально, магнитный поток и площадь — билогнормально. Меньшие компоненты распределений отвечают за популяцию мелких (SSG), большие — за популяцию крупных (LLG) пятен и их групп.
- Максимум площади компоненты SSG мелких групп пятен показывает долгопериодические вариации с изменением амплитуды почти в 10 раз. Время жизни мелких групп как правило не превышает 5 дней, а площадь — 200 м.д.п. Вращение SSG одномодальное и быстрое. Правило Вальдмайера выполняется хуже, чем для популяции крупных пятен.
- Доля популяции крупных групп LLG изменяется с фазой 11-летнего цикла, максимумы имеют тенденцию наступать позже общего числа групп, присутствует 60-летняя периодичность. Крупные группы в большинстве своём живут не меньше 6 дней и имеют минимальную площадь 32 м.д.п. Вращение бимодально, быстрая мода вращается вместе с SSG. Правило Вальдмайера лучше описывает поведение индексов солнечной активности для крупных пятен.
- Полученные результаты могут быть объяснены теорией динамо: две зоны пятнообразования порождают пятна с отличающимися характеристиками.

Спасибо за внимание!