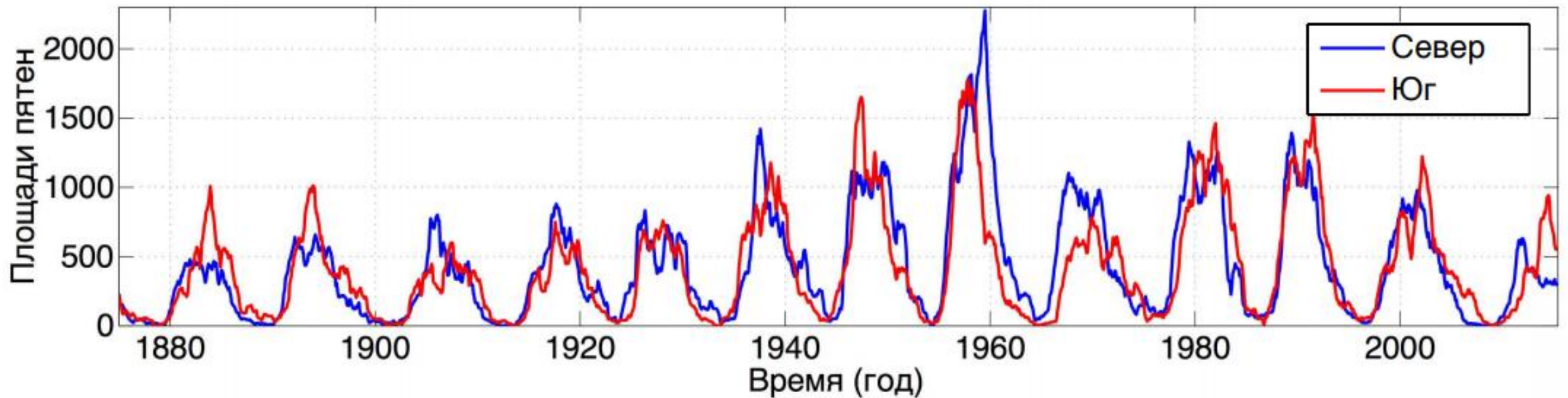
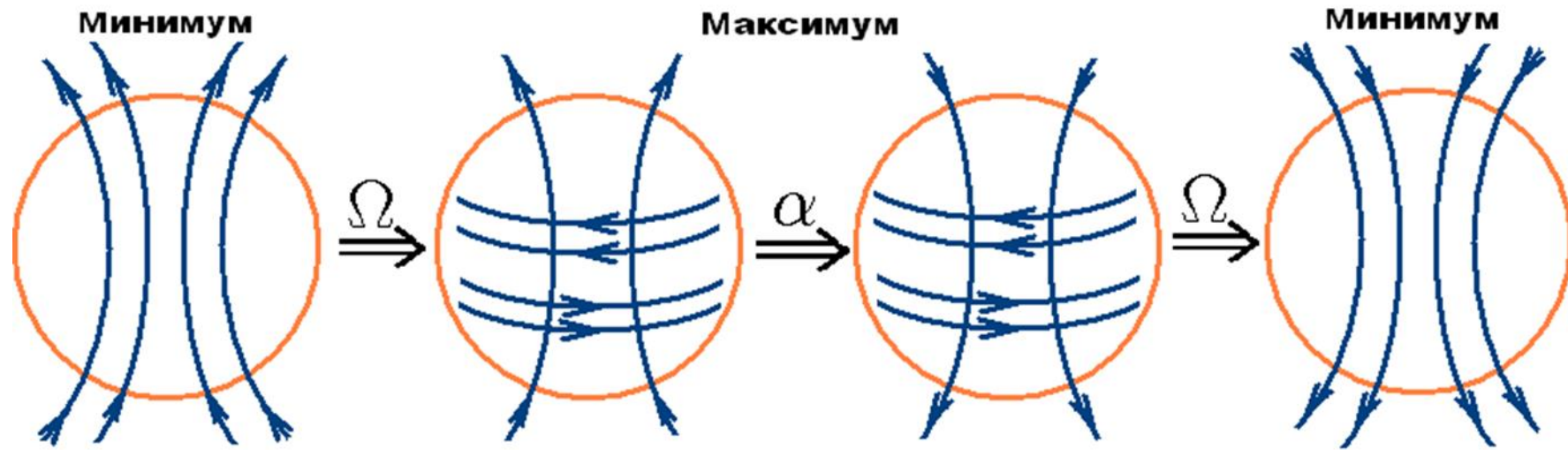


ФЛУКТУАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМО КАК ВОЗМОЖНАЯ ПРИЧИНА ДОЛГОВРЕМЕННОЙ СЕВЕРО-ЮЖНОЙ АСИММЕТРИИ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

А.А. Непомнящих

Институт солнечно-земной физики СО РАН,
Иркутск, Россия

Сценарий солнечных циклов и их изменчивость



Модель динамо

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \nabla \times (\mathbf{V} \times \mathbf{B} + \boldsymbol{\mathcal{E}}) \quad (1)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} = \frac{1}{\rho r^2 \sin \theta} \left(\frac{\partial \psi}{\partial r} \frac{\partial A}{\partial \theta} - \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \frac{\partial A}{\partial r} \right) + r \sin \theta \mathcal{E}_\phi, \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial B}{\partial t} = & \frac{1}{r^2 \rho} \frac{\partial \psi}{\partial r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{B}{\sin \theta} \right) - \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{B}{\rho r} \right) \\ & + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial \Omega}{\partial r} \frac{\partial A}{\partial \theta} - \frac{\partial \Omega}{\partial \theta} \frac{\partial A}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial (r \mathcal{E}_\theta)}{\partial r} - \frac{\partial \mathcal{E}_r}{\partial \theta} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

Учет флуктуаций α -эффекта

$$\mathcal{E}_{\phi}^{\alpha} = \alpha \frac{\sin^{n_{\alpha}} \theta \phi_{\alpha}(r)}{1 + (B(r_i, \theta)/B_0)^2} f(\theta, t) B(r_i, \theta) \quad f(\theta, t) = \cos \theta + \frac{1}{4} \sigma S(\theta, t) \quad (4)$$

- По данным о наклонах и площадях групп солнечных пятен оценена относительная амплитуда флуктуаций (Олемской и др., 2013)

$$\sigma = \frac{\langle \delta \alpha^2 \rangle^{1/2}}{\langle \alpha \rangle} \simeq 2.7$$

- По данным о вращении звезд оценена величина α для Солнца, приблизительно на 10% превышающая критическое значение α_{cr} для включения динамо (Metcalf et al., 2016; Kitchatinov & Nepomnyashchikh, 2017)
- Из сравнения наблюдаемого и расчетного распределений периодов циклов характерное время флуктуаций τ выбрано близким к периоду вращения Солнца P_{rot} (Kitchatinov, Mordvinov, Nepomnyashchikh, 2018)

$$\tau \simeq P_{rot}$$

Меры асимметрии

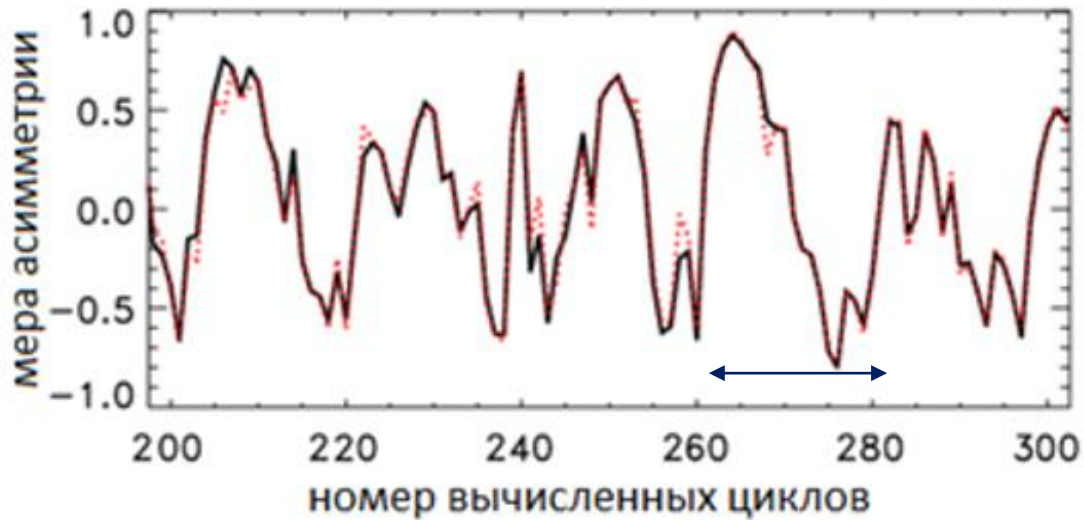


Рис.1. Меры асимметрии по выражению (5) тороидального поля для максимумов циклов (сплошная линия) и асимметрии по выражению (6) полярных полей в начале цикла (пунктирная)

$$A_t = \frac{B^2(15^\circ) - B^2(-15^\circ)}{B^2(15^\circ) + B^2(-15^\circ)} \quad (5)$$

$$A_p = \frac{B_r^2(90^\circ) - B_r^2(-90^\circ)}{B_r^2(90^\circ) + B_r^2(-90^\circ)} \quad (6)$$

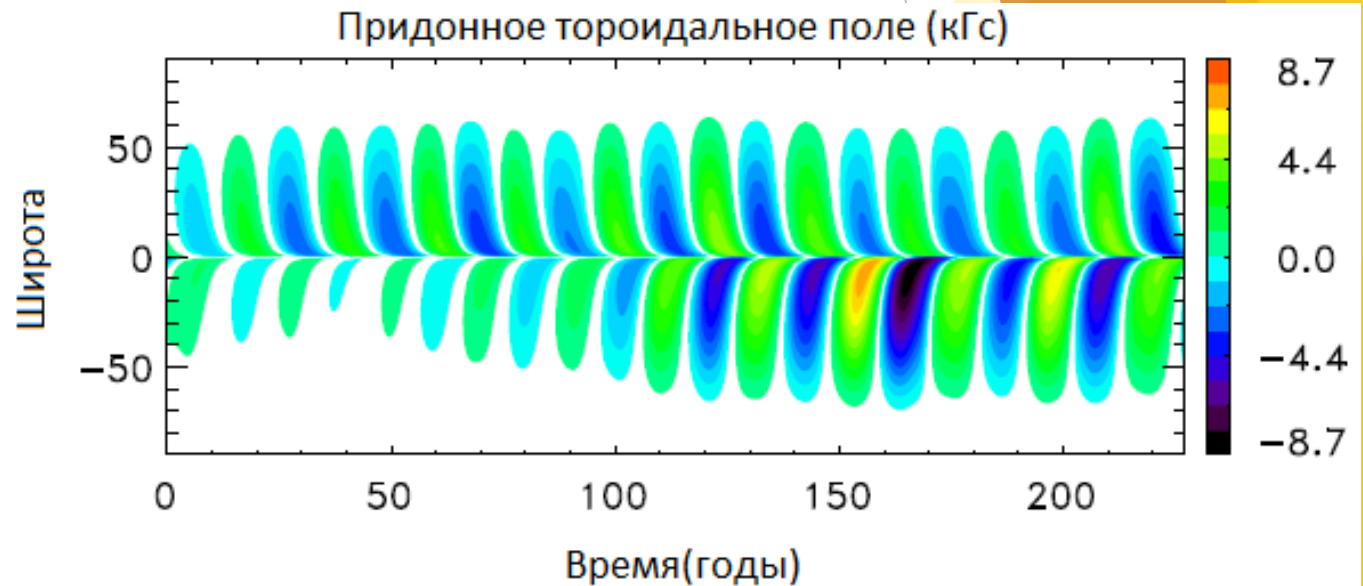


Рис.2. Широтно-временная диаграмма тороидального поля у основания конвективной зоны для фрагмента расчетов с 261 по 281 цикл из рисунка 1.

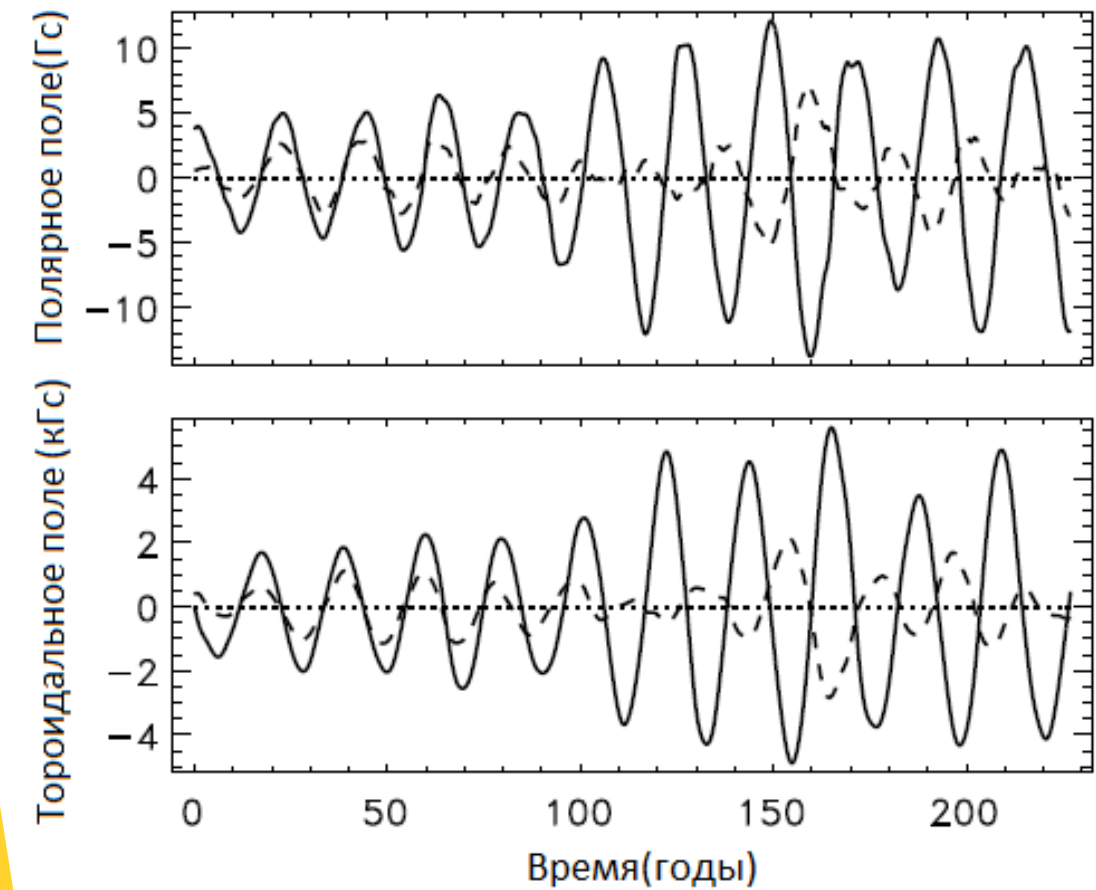


Рис.3. Дипольные (сплошная линия) и квадрупольные (пунктир) составляющие полярного поля (вверху) и тороидального поля у основания конвективной зоны на широте 15° (внизу) для расчетных циклов с 261 по 281.

$$B = B^d + B^q = \frac{B(\lambda) - B(-\lambda)}{2} + \frac{B(\lambda) + B(-\lambda)}{2}$$

$$S_q(t) = \int_0^{1/2} (S(\theta, t) + S(\pi - \theta, t)) d(\cos \theta)$$

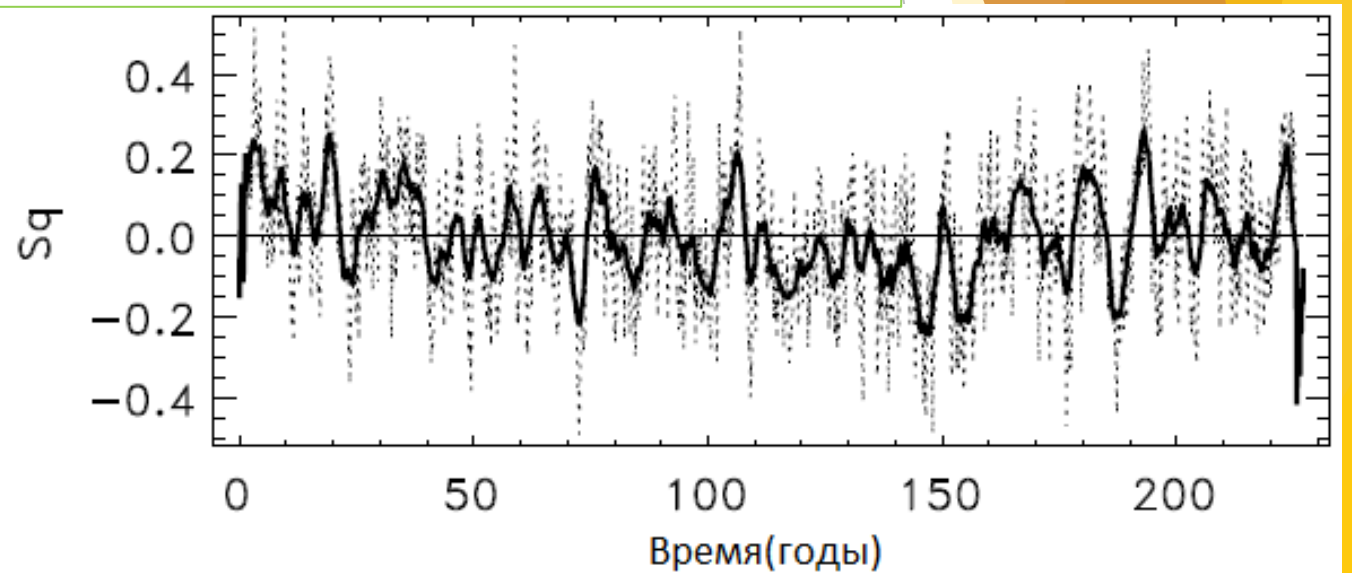


Рис. 4. Нормированная экваториально-симметричная часть флуктуаций (пунктирная линия) и её трехгодное бегущее среднее (сплошная линия).

$$C_t(m) = \frac{1}{N-m} \sum_{n=1}^{N-m} A_t(n)A_t(n+m), \quad (7)$$

$$C_p(m) = \frac{1}{N-m} \sum_{n=1}^{N-m} A_p(n)A_p(n+m). \quad (8)$$

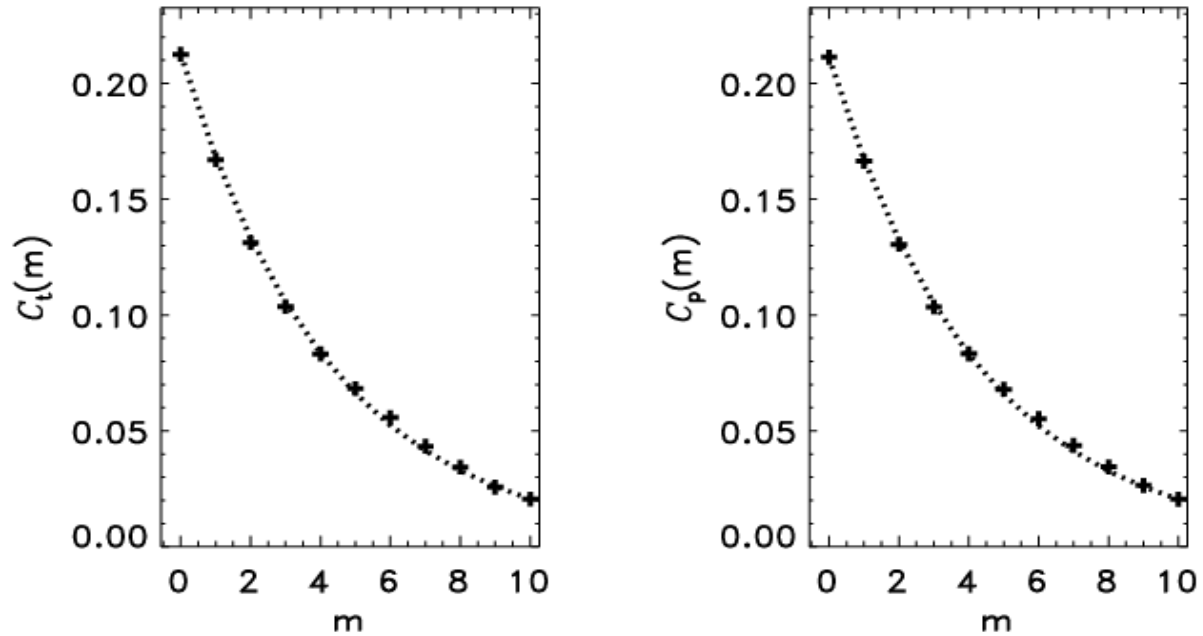


Рис. 5. Корреляционные функции асимметрии (7) и (8). Пунктирные линии показывают приближение по экспоненциальному закону $\exp(-m/m_c)$ ($m_c = 4.28$).

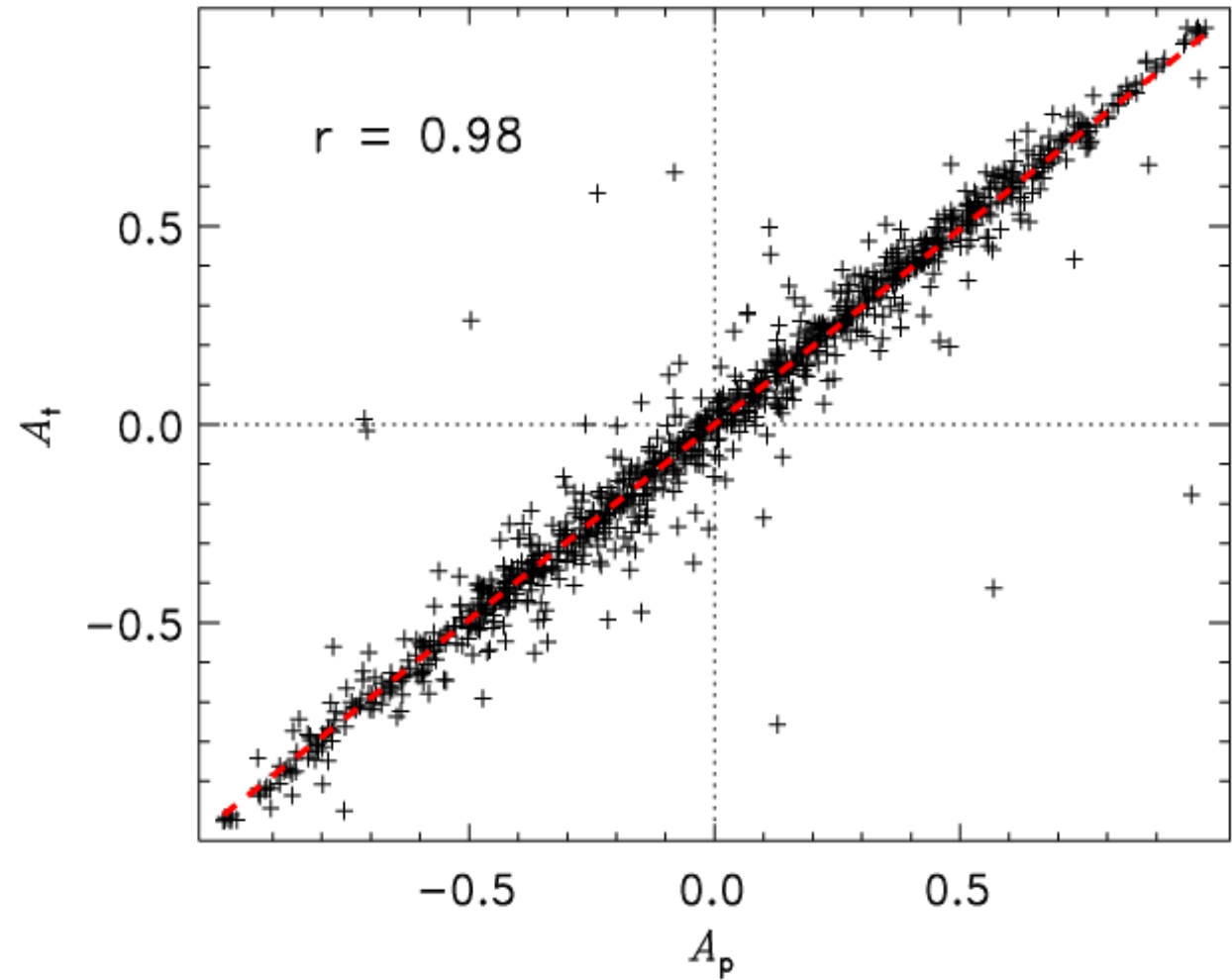


Рис. 6. Положения магнитных циклов модели динамо на координатной плоскости асимметрии тороидального поля по уравнению (5) максимумов циклов и асимметрии полярного поля (6) предыдущих минимумов.

Заключение

- ❖ Разработанная модель динамо показывает, что широтно-временные флуктуации α -эффекта приводят к длительной по сравнению со временем флуктуаций северо-южной асимметрии моделируемых магнитных циклов.
- ❖ Статистический анализ вычисленных магнитных циклов показывает, что знак и амплитуда асимметрии изменяются нерегулярно на характерном временном интервале в несколько (около четырех) циклов, но вариации неперiodические.
- ❖ Корреляция, предсказанная моделью, если она будет подтверждена наблюдениями, может иметь определенное прогностическое значение. Северо-южная асимметрия циклов солнечной активности может быть предсказана по асимметрии полярного магнитного поля предыдущих минимумов активности.

Спасибо за
внимание!