

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНА ДЖОЯ ПО ДАННЫМ УССУРИЙСКОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Ерофеев Д.В., Ерофеева А.В.

*Институт прикладной астрономии Российской академии наук,
Санкт-Петербург, Россия*

INVESTIGATION OF JOY'S LAW BY USING DATA OF USSURIISK ASTROPHYSICAL OBSERVATORY

Erofeev D.V., Erofeeva A.V.

Institute of Applied Astronomy of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

We investigate tilts of bipolar axes of sunspot groups by using data obtained in Ussuriisk Astrophysical Observatory in years 1956–2021. We found that the dependency of tilt angles on heliographic latitude may be described by a linear function only as a first approximation, but it also contains two features each in the form of horizontal section (plateau). One of the features is located at latitudes above 25° , while another lies in the vicinity of latitude $\approx 15^\circ$. In addition, we found that small and large spot groups exhibit little or no difference between dependencies of tilt angles on latitude, and that average tilt angles calculated separately for northern and southern hemispheres of the Sun indicate systematical difference by $\approx 1^\circ$.

DOI: 10.31725/0552-5829-2022-95-98

Под законом Джоя обычно подразумеваются два утверждения: (1) лидирующие части биполярных групп солнечных пятен в среднем располагаются ближе к гелиоэкватору, чем хвостовые; (2) средний наклон к экватору осей, соединяющих лидирующие и хвостовые части (полюса) групп, возрастает с ростом гелиографической широты. Закон Джоя, первоначально установленный для групп солнечных пятен, был распространен также на биполярные магнитные области, выделяемые на магнитограммах Солнца (но в нашей работе этот аспект не рассматривается). В настоящее время углы наклона осей групп пятен (тилт-углы) исследованы по нескольким рядам данных [1–5], которые в сумме охватывают временной интервал более века. Все эти исследования в качественном отношении подтверждают закон Джоя, однако между ними имеются количественные расхождения, в частности, в отношении вида зависимости углов наклона от гелиографической широты. Расхождения, вероятно, связаны с различиями в методике определения полюсов и осей групп пятен, так как эти характеристики вряд ли можно определить вполне однозначно с количественной точки зрения. Следует также отметить, что большая часть имеющихся рядов данных была получена без учета измерений магнитных полярностей пятен, полагаясь только на закон полярностей Хэйла (однако в [3] сделан вывод, что учет измерений магнитных полей пятен или отсутствие такового не имеет большого значения).

В настоящей работе мы представим результаты, полученные с использованием фотогелиограмм Уссурийской астрофизической обсерватории (УАФО), которые были получены в период с 1956 по 2021 г (6 циклов солнечной активности). В процессе рутинной обработки фотогелиограмм измерялись, как правило, гелиографические координаты двух крупных пятен, расположенных в ведущей (p) и хвостовой (f) частях каждой из многопятенных групп. Эти измерения взяты в качестве координат p - и f -полюсов групп пятен. Однако в сложных группах измерялись координаты 3–4 пятен, в этих случаях положения одного или обоих полюсов определялись усреднением координат двух пятен. Полученные таким способом координаты полюсов затем усреднялись за период прохождения группы пятен по диску Солнца. Мы не включили в ряд данных параметры мелких групп, максимальные площади которых не достигали 20 м.д.п., а также тех групп, которые наблюдались только вблизи лимба. Кроме того, исключены некоторые крупные группы пятен со сложной структурой, для которых сколько-нибудь корректное выделение полюсов представлялось затруднительным.

В итоге описанной выше процедуры был получен список параметров 8732 групп пятен, содержащий координаты их полюсов, а также время наблюдения каждой из групп и ее максимальную площадь A . По координатам полюсов рассчитаны широта центра F_c каждой группы, а также длина D и угол наклона T её оси:

$$D = (\Delta F^2 + \Delta L^2 \cos^2 F_c)^{1/2} \quad (1)$$

$$T = \pm \arctan(\Delta F / \Delta L \cos F_c) , \quad (2)$$

где ΔF и ΔL – разности широт и долгот p - и f -полюсов, а знак в правой части (2) выбирается по следующему правилу: $T > 0$ или $T < 0$, если ближе к экватору расположен соответственно p - или f -полюс группы пятен.

Мы рассмотрели распределения групп пятен по углам наклона осей для 5-градусных широтных зон и нашли, что по крайней мере до широт 30° эти распределения обладают незначительной асимметрией, при этом средние T_m и медианные T_M значения углов наклона имеют очень незначительные различия. Таким образом, простое усреднение углов наклона дает статистически устойчивые оценки. На рис. 1 показана зависимость средних значений угла наклона T_m от гелиографической широты F (фактически от модуля широты, т.к. мы не разделяем группы пятен северного и южного полушарий Солнца). Оценки сделаны для широтных зон размером в 5° , с шагом 2.5° . График показывает возрастание T_m с широтой, которое в первом приближении может быть аппроксимировано линейной функцией:

$$T_m = 1.216^\circ + 0.340 \cdot |F| . \quad (3)$$

Однако можно отметить и существенные отклонения зависимости $T_m(F)$ от линейной, которые имеют вид двух почти горизонтальных участков («плато»). Один из них расположен на широтах выше 25° , причем положение его

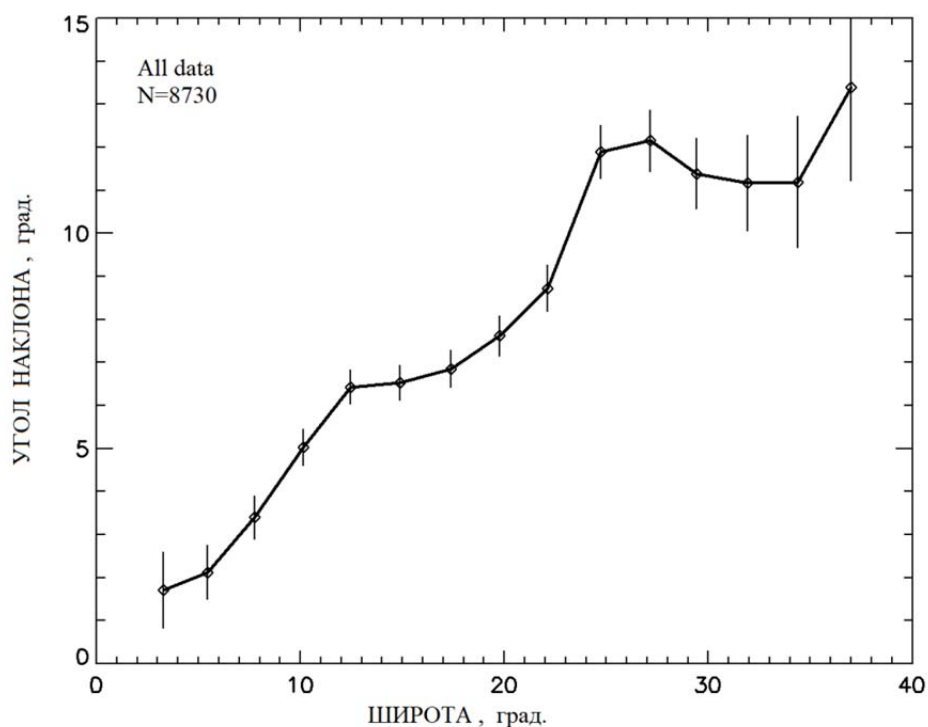


Рис. 1. Зависимость средних углов наклона групп пятен от гелиошироты.

верхней границы определить затруднительно ввиду падения числа групп пятен на широтах выше 35° . Наличие такой особенности $T_m(F)$ неоднократно отмечалось ранее [1–4]; по-видимому, оно присуще всем известным в настоящее время рядам данных о наклонах осей групп пятен. Второе «плато» занимает интервал длиной $8\text{--}10^\circ$ с центром около $F = 15^\circ$ (см. рис. 1). Подобная деталь была отмечена в работе [3], где исследовались ряды данных трех обсерваторий (Mount Wilson, Kodaikanal, Debrecen), причем все три ряда получены с использованием одного алгоритма определения углов наклона групп пятен. Однако при анализе данных, полученных с применением других методов расчета углов наклона групп пятен [4, 5], «плато» около широты 15° обнаружено не было. Отметим, что применяемый в УАФО метод определения углов наклона также отличается от метода, который применялся при создании исследованных в [3] рядов данных.

На рис. 2 показаны зависимости среднего угла наклона от широты для групп пятен с малыми, средними и большими максимальными площадями (соответственно $A < 100$, $100 < A < 400$ и $A > 400$ м.д.п.). Как можно видеть, зависимости $T_m(F)$ для групп с разными площадями почти одинаковы (различия в пределах статистических ошибок). В частности, отметим, что все эти зависимости демонстрируют наличие «плато» в окрестности широты 15° .

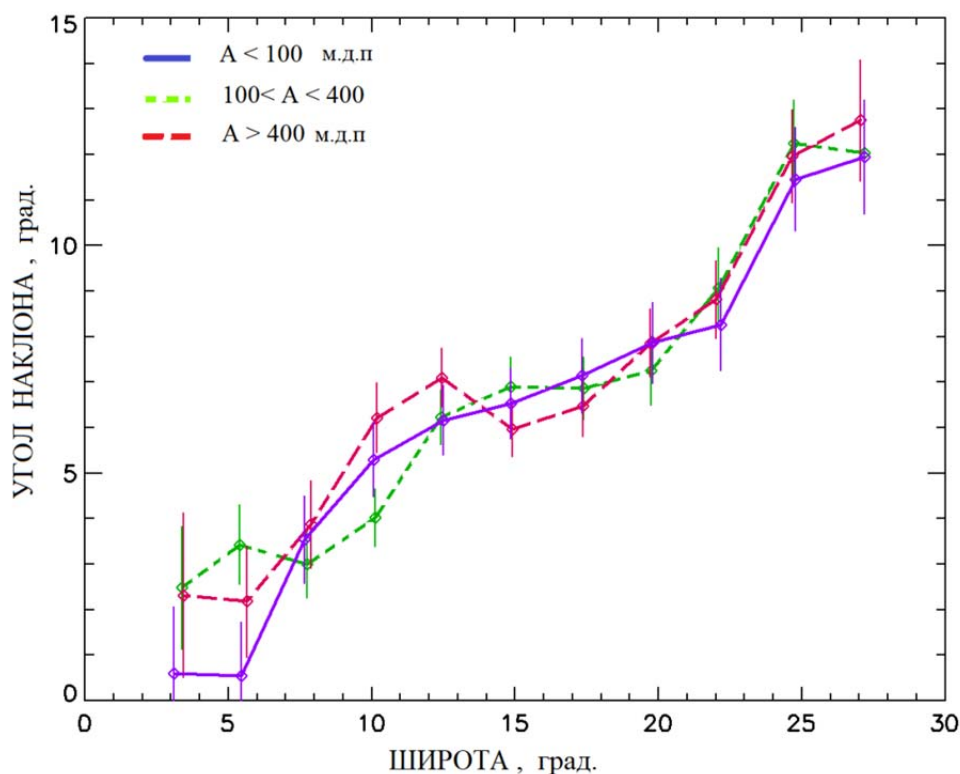


Рис. 2. Зависимости средних углов наклона групп пятен от гелиошироты для групп с малой, средней и большой максимальной площадью.

Мы также сравнили зависимости $T_m(F)$, рассчитанные отдельно для групп пятен северного и южного полушарий Солнца. Сравнение показало, что в южном полушарии углы наклона осей групп пятен систематически меньше, чем в северном, и их различие составляет в среднем около 1° . Это согласуется с результатом, полученным ранее по данным обсерватории Mount Wilson [1].

Литература

1. Howard R.F. Solar Phys. V. 136, p. 251, 1991.
2. Sivaraman K.R., Gupta S.S., Howard R.F. Solar Phys. V.189, p.69, 1999.
3. Baranyi T. MNRAS V. 447, p.1857, 2015.
4. Иванов В.Г. Тр. Всероссийской ежегодной конф. «Солнечная и солнечно-земная физика-2011», с. 39, СПб, 2011.
5. Tlatova K., Tlatov A., Pevtsov A., et al. Solar Phys. V. 293,118, 2018.