ИЗМЕНЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ЧИСЛА ПОР В ЦИКЛАХ АКТИВНОСТИ

**Тлатова К.А.¹, Васильева В.В.¹, Березин И.А.¹,
Илларионов Е.А.², Тлатов А.Г.¹**

¹*Кисловодская Горная астрономическая станция ГАО РАН, Кисловодск, Россия*

²*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

CHANGE IN THE RELATIVE NUMBER OF PORES IN SOLAR ACTIVITY CYCLES

**Tlatova K.A.¹, Vasil'eva V.V.¹, Berezin I.A.¹,
Illarionov E.A.², Tlatov A.G.¹**

¹*Kislovodsk mountain astronomical station of the Pulkovo observatory, Russia*

²*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

In this paper, we performed an analysis of the relative number of groups in cycles 21–24 based on the digitization of observations of Locarno Observatory spots (Locarno, Switzerland). In the Zurich Classification of sunspot groups, there are classes from A to J. The classes correspond to the process of development and decay of groups of sunspots. Groups of class A and B correspond to single pairs or a small cluster of them (class A) and a bipolar group (class B). The relative number of groups (A+B) is of great importance for the reconstruction of solar indices. We found significant variations in the relative number of spots of groups (A+B) in the activity cycles. If in the minima of activity the relative number of groups (A+B) is 45–50%, then in the maxima of the activity cycle there is a decrease to 25–30%.

In the original index of spots R , proposed by R. Wolf, pores were not taken into account, and the set of nuclei united by one penumbra was considered as one spot. After 1893, at the suggestion of A. Wolfer, the method of calculating the index of sunspots changed. The pores and all the individual nuclei in the spots began to be taken into account, this index is denoted by R_z . It is believed that between the Wolf (R) and Wolfer (R_z) spot index, there is a constant transition coefficient k , close to $R/R_z = 0.6$. We found that this assumption is incorrect, and R/R_z depends on the amplitude of the activity cycle, varying for the cycle N19 $k_{19} \sim 0.3$, and for the period of the grand minimum $k_{MM} \sim 0.7$.

DOI: 10.31725/0552-5829-2021-273-276

1. Введение

Современная эра подсчета солнечных пятен началась в середине 19-го века с исследования Р. Вольфа, который разработал индекс, основанный на количестве пятен и групп пятен (кластеры связанных пятен). Он решил исключить из своих ежедневных наблюдений те маленькие пятна и поры, которые были видны только при отличных условиях видимости. Окончательная форма индекса Вольфа, созданная в 1848 году, присваивает вес 10 каждому кластеру связанных точек (g) и единицу каждому отдельному пятну (f): $R = (10 \cdot g + f)$.

С увеличением количества и более рассредоточенной группой наблюдателей улучшились средние условия видимости и изменились правила подсчета Вольфа. Изменения в исходной формулировке правила подсчета требовало приведение значений обновленного индекса пятен к индексу Вольфа. Решение этой проблемы было найдено путем введения коэффициента, иногда называемого k -фактором, в индекс Вольфа: $k \cdot (10 \cdot g + f)$. Здесь f уже не число отдельных пятен, а число пор, то есть малых пятен без полутени плюс число ядер в отдельных пятнах. Было определено, что, если принять значение 1.0 для наблюдений Вольфа, то для наблюдений Вольфера коэффициент $k = 0.6$ обеспечит перевод индекса примерно в один и тот же масштаб к индексу Вольфа (R) [1].

В 1936 году Вальдмайер [2] представил 8-ступенчатую схему классификации групп солнечных пятен. Все группы, наблюдавшиеся в Швейцарской федеральной обсерватории в Цюрихе с 1938 г., а затем и Локарно получали букву классификации между A и J (буква I опущена) [3].

В данной работе мы выполнили оцифровку и провели анализ групп различных классов по данным наблюдений обсерватории Локарно за период 1981–2020 гг.

2. Данные и методы оцифровки

Мы выполнили оцифровку таблиц групп пятен обсерватории Локарно (Швейцария). Эта обсерватория считается преемницей Цюрихской обсерватории. Данные представлены на сайте обсерватории <https://www.specola.ch/e/drawings.html>. При оцифровке мы использовали методы машинного обучения для распознавания букв и цифр. Использовался метод обучения CTC (Connectionist Temporal Classification), а также разнотипная нейронная сеть Random Multimodel Deep Learning (RMDL).

Всего нами было оцифрованы данные ~10 тысяч дней наблюдений и получены характеристики ~120 тыс. групп солнечных пятен. Относительная доля групп различных классов представлена на рис. 1. Доля групп классов A и B, состоящих из пор, в общем числе групп составляет 17,8% и 16,7% соответственно, т.е. суммарно 34%. В подсчете индекса солнечных пятен (рис. 1 справа) вклад групп A и B составляет ~24%. Таким образом, если бы в подсчете индекса пятен были исключены группы из пор A и B, то коэффициент перехода составил бы $k_{AB} \sim 0.8$. Этот коэффициент отличается от «Цюрихского коэффициента приведения» $k = 0.6$. Возможно, это связано с отличием числа пятен в методике подсчета Вольфа R и индекса R_z , где учитывались все ядра в пятнах, а не отдельные пятна.

На рис. 2 представлены изменения во времени общего числа групп в день и групп класса A+B. Несмотря на похожий характер поведения с циклами активностью, относительные амплитуды циклов пор несколько отличаются от общего хода числа групп солнечных пятен. Это хорошо видно

на рис. 3. Отношение числа (A+B) к общему количеству групп пятен (all) меняется с фазой цикла активности, достигая максимума в эпоху минимума активности. Зная количество групп в разных классах и количество пятен в каждой группе, можно смоделировать индексы солнечных пятен по различным методикам подсчета. В частности на рис. 3 представлено отношение числа по методике Вольфа (R) и Вольфера (Rz).

Рис. 1. Слева – относительная доля групп различных классов в общем числе групп. Справа – относительная доля групп разных классов в подсчете индекса пятен SN.

Рис. 2. Изменение среднего числа групп для всех классов и отдельно для групп A+B.

Рис. 3. Отношение числа групп (A+B) к общему числу групп и отношение индексов пятен подсчета по методике Вольфа (R) и Вольфера (Rz). Стрелкой показана тенденция к росту отношения индексов по различным методикам.

В период 1981–2020 гг. имеется тенденция к росту этого отношения, меняясь от величины ~ 0.35 до ~ 0.6 . Таким образом, гипотеза о неизменной величине «Цюрихского коэффициента приведения», возможно, является неверной.

Нами было установлено, что для циклов большой амплитуды соотношение $k = R/R_z$ зависит от амплитуды цикла активности. Для циклов 22–24 это отношение менялось от 0.41 до 0.54. Если предположить линейный характер зависимости отношения от амплитуды цикла активности, то экстраполяция позволяет оценить это соотношение для цикла N19 $k_{19} \sim 0.3$, а для периода гранд минимума $k_{MM} \sim 0.7$.

При реконструкции нового индекса солнечных пятен SN [4] и индекса групп солнечных пятен [5] считалось, что переход от системы подсчета с учетом и без учета пор коэффициент является постоянным. Вместе с тем наш анализ показал, что это не так, а коэффициенты перехода зависят от фазы солнечного цикла и от амплитуды циклов активности.

Работа выполнена при частичной поддержке проекта РФФ № 21-72-20067 (К.Т.).

Литература

1. Coffey, H., C.D. Hanchett, E.H. Erwin // J. Amer. Assoc. Var. Star Obs., 1999, **27**, 55.
2. Waldmeier M., I. // Zeitschrift fur Astrophysik, 1938, **6**, 276.
3. Kleczek J. // Bull. Astr. Inst. Czech., 1953, **4**, 9.
4. Clette F., L. Svalgaard, J.M. Vaquero, E.W. Cliver // Space Sci. Rev., 2014, **186**, 35.
5. Svalgaard L., K.H. Schatten // Solar Phys., 2016, **291**(10), 2653.