НОВАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В 1000–1700 гг.

Птицына Н.Г., Демина И.М.

Санкт-Петербургский филиал ИЗМИРАН, Санкт-Петербург, Россия

NEW RECONSTRUCTION OF SOLAR ACTIVITY IN 1000–1700

Ptitsyna N.G., Demina I.M.

St-Petersburg Filial of IZMIRAN, St. Petersburg, Russia

The reconstruction of solar activity (the number of sunspots SN) in 1000–1700 on the basis of observations of middle and low latitude auroras was obtained. Our reconstruction differs from the works of other authors in that we took into account the shielding effect of the geomagnetic dipole MM on the charged particles of the solar wind that cause auroras. The temporary course of the reconstructed SN shows the previously known minima of Oort, Wolf, Spörer and Maunder. In 1100–1150 (medieval maximum) the values of the $SN = 200–280$ are comparable to those observed in the second half of the 20th century during a modern episode of high solar activity. The comparison showed that the new independent reconstruction of SA , based on the number of auroras, confirms, and in many cases complements, the findings from the analysis of historical observations of sunspots, as well as data on cosmogenic isotopes.

DOI: 10.31725/0552-5829-2019-333-336

1. Введение

Получена реконструкция числа солнечных пятен SN в 1000–1700 гг. вместе с возможными ошибками на основе числа наблюдений полярных сияний N на средних и низких широтах. Число полярных сияний может служить мерой солнечной активности, так как для авроральных событий, регистрируемых на средних и низких широтах, наблюдается положительная корреляция с числом солнечных пятен. На проникновение в магнитосферу и атмосферу Земли заряженных частиц солнечного ветра влияет напряженность и конфигурация главного магнитного поля Земли. Наша реконструкция отличается от полученных другими авторами тем, что мы учли экранирующее влияние магнитного диполя MM на заряженные частицы, которые вызывают сияния.

2. Данные

Для реконструкции использованы данные о числе полярных сияний N , наблюдаемых в 1000–1900 гг. на средних и низких широтах (рис. 1), скомпонованного из известных каталогов с дополнением наших данных [1]. Видна большая разница в величине N в раннем средневековье и в 18–19 вв.

В отдаленные эпохи фиксировалось лишь небольшое число особо выдающихся событий N из всех случившихся полярных сияний. Это число связано с «цивилизационными» факторами: войны, эпидемии, голод и т.п.

снижают интерес к природным явлениям, а техническое и культурное развитие общества (например, изобретение книгопечатания в 1445 г.) способствует его росту. Мы провели нормализацию N с использованием двух рядов: количество населения как число потенциальных наблюдателей, и количество университетов в Европе как число пропорциональное квалифицированным наблюдателям.

Рис. 1. Ежегодное число полярных сияний N на средних и низких широтах.

Рис. 2. Нормализованное число полярных сияний на низких и средних широтах в 1000–1700 гг., дополненное до 1740 г. данными из нашего каталога [1] (штриховая линия).

3. Метод реконструкции SN

Зависимость SN от N , учитывающая экранирующее влияние геомагнитного поля на наблюдаемое число полярных сияний:

$$SN_i = N_i/k_1(1 - k_2 MM) + \varepsilon_i.$$

Для периода 1700–1909 гг. были найдены коэффициенты k_1, k_2 [1, 2]. На их основе мы получили оценку ряда SN в 1000–1700 гг. Для этого мы использовали следующие модели, описывающие изменение MM в 1000–1700 гг.: ARCH3k.1, построенная по археомагнитным данным, SED3k.1 – по данным осадочных пород, CALS3k.3 и CALS7k по комплексу данных, и обобщенная модель GMAG.9K.

Рис. 3. Влияние выбора модели ММ на реконструкцию SN . а – изменение ММ, вычисленного по разным моделям: жирная линией – ARCH3k.1, тонкая линия – CALC3k.3, линия с ромбами – CALC7k, серая линия – SED3k.1, пунктирная линия – GMAG.9K. б – разность между SN по модели ARCH3k.1 и по остальным моделям; обозначения те же.

4. Результат реконструкции SN (1000–1700 гг.)

На рис. 4 представлены значения SN , полученные разными методами. На кривой нашей реконструкции, как и на других кривых, видны «средневековый максимум» в 12 в., максимумы в 14 и в конце 16 вв.

Рис. 4. Реконструкции числа солнечных пятен в 1000–1700 гг. Сплошная линия – реконструированные нами SN , сглаженные окном 11 лет, серая полоса – возможная ошибка; линия с символом о – SN на основе данных об ^{14}C и ^{10}Be [3]; пунктирная линия – SN на основе данных о 5 космогенных изотопах [4]; диаграмма – число пятен, наблюдаемых невооруженным глазом [5].

Кроме того, полученный ряд SN демонстрирует продолженные минимумы Оорта (~1125–1175 гг.), Вольфа (~1210–1350 гг.), Шперера (~1400–1500 гг.) и Маундера (~1650–1715 гг.). В отличие от остальных рекон-

струкций, наш ряд SN указывает на то, что средневековый максимум был самым значительным за исследуемый период времени, его амплитуда в ~ 3 раза больше амплитуд остальных максимумов. Годовые значения в 1100–1150 гг. достигали значений $SN = 200–280$.

5. Заключение

Используя нашу базу данных о появлении полярных сияний на средних и низких широтах в 1000–1700 гг. и модельных данных о магнитном моменте диполя MM в это время, мы получили новую реконструкцию числа солнечных пятен SN вместе с возможными ошибками. Анализ показал:

1. Наличие известных особенностей во временном поведении СА – средневековый максимум, минимумы Оорта, Вольфа, Шперера и Маундера.

2. Во время средневекового максимума SN сравнимо с СА, которая наблюдалась во время современного максимума во второй половине 20 века.

3. Во время минимума Маундера число солнечных пятен SN уменьшается в ~ 2 раза по сравнению с предыдущим периодом; годовые неусредненные всплески активности достигают $SN \approx 40$.

Новая реконструкция СА, основанная на числе появления средне- и низкоширотных полярных сияний с учетом влияния MM подтверждает и дополняет заключения, сделанные из анализа исторических наблюдений солнечных пятен, а также данных о космогенных изотопах.

Литература

1. *Птицына Н.Г., Демина И.М., Тясто М.И.* Вариации авроральной активности и главного магнитного поля Земли за триста лет (1600–1909 гг.) // *Геомагнетизм и Аэронаука*. Т. 58. № 6. С. 818–827. 2018.
2. *Птицына Н.Г., Демина И.М.* Реконструкция солнечной активности в 1000–1700 гг. по данным о полярных сияниях с учетом вклада главного магнитного поля Земли // *Геомагнетизм и Аэронаука*. № 3. 2020. (в печати).
3. *Steinhilber F., Abreu J.A., Beer J., et al.* 9400 year cosmogenic isotope data and solar activity reconstruction. IGBP PAGES/WDC Paleoclimat. Data. USA. 2012.
4. *Wu C.J., Usoskin I.G., Krivova N., et al.* Solar activity over nine millennia: A consistent multi-proxy reconstruction // *Astron. Astrophys.* 615, A93. P 1-13. 2018.
5. *Yau K.K.C., Stephenson F.R.* A revised catalogue of Far Eastern observations of sunspots (165 BC to AD 1918) // *Q.J. R. Astr. Soc.* V. 29. P. 175-197. 1988.