

## СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ В ПРОШЛОМ И В НАШЕ ВРЕМЯ

Е.И. Петухов, доцент

Институт физической химии имени Л. В. Писаржевского НАН Украины  
(Украина, г. Киев)

DOI:10.24412/2500-1000-2023-2-2-121-124

**Аннотация.** В статье рассмотрено современное состояние вопроса образования Солнца и Солнечной системы. Особое внимание уделено солнечной активности и теории 11 лет. Проанализированы графики солнечной и геомагнитной активности с 1997 по 2022 год. На основании данного исследования автор выявил, что проблемы солнечной активности интересны для специалистов в разных области науки.

**Ключевые слова:** солнечная система, солнце, космические лучи, молекулярные облака, солнечная активность.

Обычно считается, что космические лучи ускоряются магнитными полями в гидродинамически активных областях, в которых кинетическая энергия движения масс может быть преобразована магнитным путем в энергию частиц [1]. Таким образом, понятно, что феномен Ориона, связанный с гамма-лучами и избытком углерода и кислорода в потоке космических лучей следует интерпретировать как общее свойство областей звездообразования [2]. Существует гипотеза, что эти явления могут быть прямыми последствиями самих взрывов сверхновых и, следовательно, должны быть ограничены по времени, но также могут быть эпизодическими, когда происходят новые взрывы [3].

Время жизни межзвездных молекулярных облаков, не считая времени образования, составляет  $1-3 \times 3 \cdot 10^7$  лет в соответствии с возрастом старейших звезд Т Таугі, спроецированных на облака с визуальным затуханием более 1 mag [4], или в соответствии с возрастом ассоциаций ОВ с сопутствующим молекулярным газом. Поэтому массивные звезды, образовавшиеся внутри такого облака, достигают стадии сверхновой только при массах всего 9 МДж в течение срока жизни облака. Только подмножество взрывов может выбрасывать очень энергичные ионы углерода и кислорода в виде сверхновых типа Ib. Характерное гамма-излучение с пониженным возбуждением от этих ионов также должно быть довольно редким, и время жизни та-

кого гамма-излучения составляет всего несколько тысяч лет.

Анализ инъекции короткоживущей радиоактивности в ядра молекулярных облаков, расположенных близко (в нескольких парсеках) к взрывам сверхновых, показывает, что такая инъекция должна происходить в значительной части ядер молекулярного облака [5], и фактический уровень радиоактивности, обнаруженный в результирующей планетной системе, должен быть весьма изменчивым. Уже для  $^{129}\text{I}$  в Солнечной системе со средним сроком жизни  $2,3 \times 10^7$  лет источником, по-видимому, были отдаленные сверхновые, производящие  $\gamma$ -процесс вблизи 10 МДж [6]. Таким образом, в его масштабе времени значительный общий фоновый уровень концентрации такой радиоактивности, по-видимому, существует в молекулярных облаках и станет частью образующихся ядер.

Выброс сверхновой активно перемещается внутри ядра, на которое он воздействовал. После сжатия и смешивания захваченной потоком межзвездной среды и разбавленного выброса сверхновой этот смешанный материал также будет химически прикрепляться к поверхностям ранее существовавших зерен. Учитывая спектр размеров этой пыли, мельчайшая пыль обычно становится более обогащенной (на единицу массы) при разбавленном выбросе сверхновой. Эти различные изотопные структуры оставляют отпечаток на после-

дующих химических перегруппировках как форме химической памяти [7].

Ядро, давшее начало Солнечной системе, находилось примерно в пределах 2-10 парсек от места мощного взрыва сверхновой в родительском молекулярном облаке. Типичное ядро в облаке, содержащем ОВ-ассоциации, лежало бы несколько дальше от места ассоциации, но в течение срока службы облака О-звезды могут перед взрывом проникать на значительные расстояния в облако; таким образом, событие зарождения Солнечной системы является несколько необычным, но оно не должно быть редким. Даже на больших расстояниях более щадящее введение  $^{26}\text{Al}$  в сердечник должно быть обычным делом. Однако большинство ядер, образующих звезды, не подвергаются такой сильной гидродинамике, возникающей в результате этой деформации и инъекции, как, по-видимому, было в случае с Солнцем. Таким образом, образование Солнечной системы не является ординарным космическим событием.

Много данных о солнечной активности и о ее влиянии на атмосферу Земли было получено в периоды IGY-IQSY (International Geophysical Year – International Quiet Sun Year – Международный геофизический год – Международный год спокойного Солнца). Эти данные показывают, что солнечные события и их влияние на Землю разнообразны и важны. Одним из результатов было то, что энергетический спектр частиц активных областей Солнца настолько широк, что включает в себя как солнечный ветер, так и солнечные космические лучи, а также все энергии частиц между ними. Появляется все больше свидетельств того, что действие солнечных частиц распространяется не только на магнитосферу и ионосферу, но и на крупномасштабные тропосферные явления и даже на химические и биологические события.

Известна модель 11-летнего цикла солнечной активности, используемая при изу-

чении солнечно-земных отношений и их приложений [8, 9]. Основные положения, заложенные в фундамент этой теории, основываются на наблюдениях за солнечной активностью в течение 19-20 веков:

- Существует 11-летний цикл (закон Швабе-Вольфа). Все солнечные явления и выбросы в течение 11-летнего цикла изменяются одинаковым образом. 11-летний цикл начинается с быстрого увеличения всех явлений и медленно уменьшается. Только маленькие и немногочисленные высокоширотные протуберанцы составляют исключение. Их количество меняется в противоположность количеству других событий.

- Новый цикл начинается в высоких широтах (около  $40^\circ$ ). На более поздних фазах новые события появляются ближе к экватору (закон Спорера). Исключения встречаются в высоких широтах. В этих регионах протуберанцы и корональные особенности перемещаются к полюсам во время максимума цикла. Но высокоширотные протуберанцы и корональные возбужденные области незначительны по размеру, интенсивности и количеству по сравнению с аналогичными событиями на широтах ниже  $40^\circ$ .

- Распределение магнитных полярностей в группах пятен одинаково в одном полушарии в течение одного 11-летнего цикла и противоположно ему в другом полушарии. В следующем цикле распределение полярности в обоих полушариях меняется в обратную сторону (закон Хейла).

Проведем анализ солнечной активности с 1997 года по 2022 год. На рис. 1 показано суммарное количество солнечных вспышек С, М и Х-класса, которые произошли в течение каждого года. Рисунок 1 показывает, как эволюционирует солнечный цикл с течением времени. Используются данные из SWPC NOAA, которые обновляются ежедневно [10].

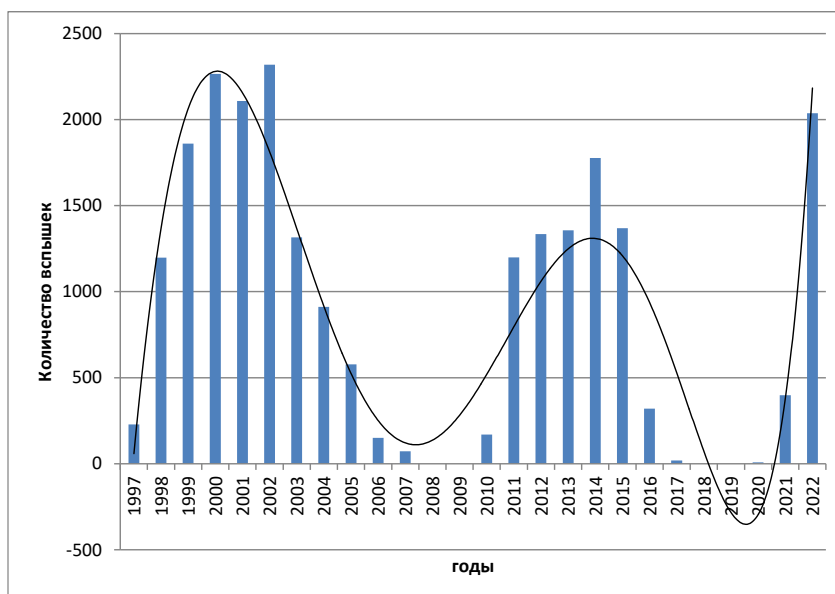


Рис. 1. Диаграмма количества солнечных вспышек по годам с линией аппроксимации.

Из рис. 1 видно, что солнечная активность подвержена цикличности, что подтверждает теорию 11 лет. Выполнена степенная аппроксимация данных полиномом 6-й степени:

$$y = 0,0018x^6 - 0,0974x^5 + 1,2005x^4 + 16,019x^3 - 423,35x^2 + 2449,4x - 1984,1$$

Точность аппроксимации  $R^2 = 0,8867$  достаточно высока ( $R^2 = 1$  – абсолютная точность). Если следовать теории, то следующие годы 2023-24 будут находиться на пике солнечной активности. Проведем параллельный анализ геомагнитных бурь в аналогичном временном интервале (рис. 2).

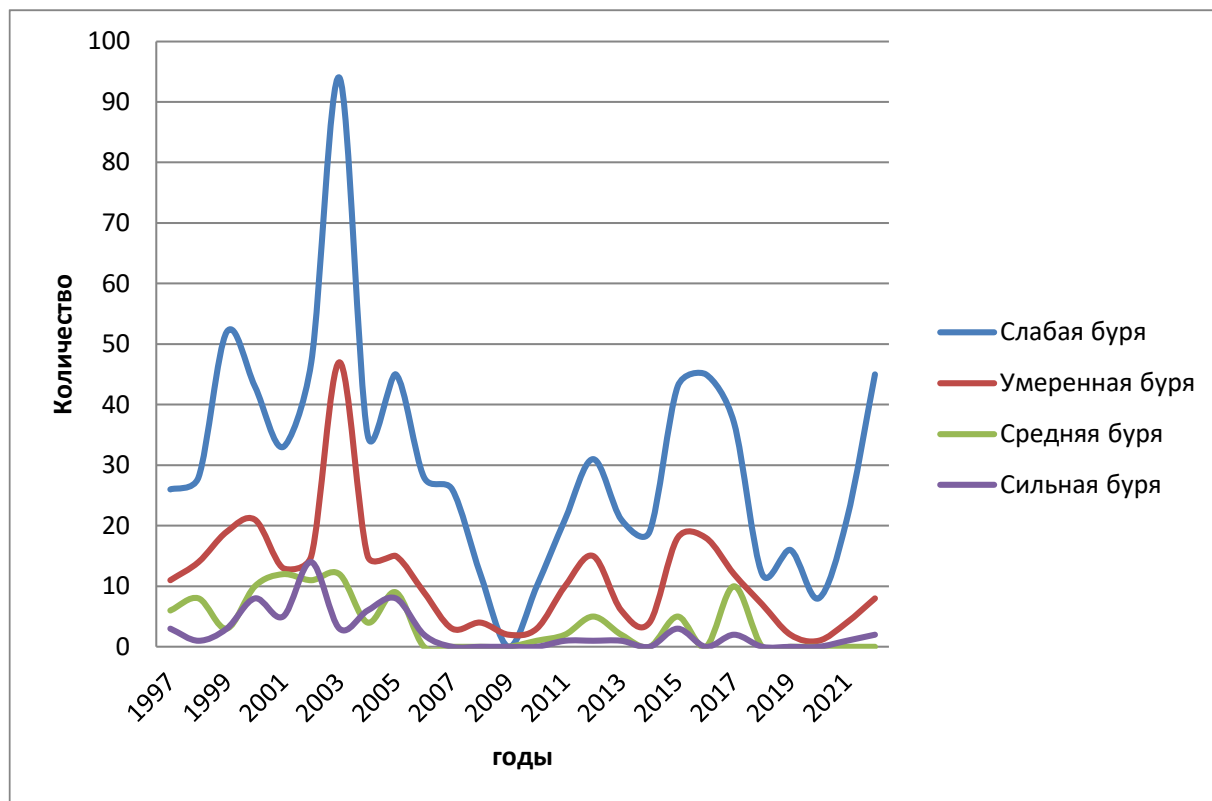


Рис. 2. Графики цикличности магнитных бурь

Из рисунка 2 можно сделать следующие выводы. Более слабые бури хорошо соответствуют теории 11 лет. При увеличении геомагнитной активности, зависимость приобретает дополнительные экстремумы. Особенно это хорошо видно для сильных бурь, которым присуща осциллирующая зависимость со средним периодом 3-4 года. Для объяснения этого факта необходи-

мо проведение дополнительных исследований.

В целом, проблемы солнечной активности становятся интересными не только для астрофизиков, геомагнетистов и радиофизиков, но и для специалистов в области плазмифизики, космических лучей, верхних и нижних слоев атмосферы Земли и некоторых аспектов химии, биологии и медицины.

### Библиографический список

1. Rankin J.S. et al. Galactic cosmic rays throughout the heliosphere and in the very local interstellar medium // Space Science Reviews. – 2022. – Т. 218. – № 5. – С. 42.
2. Самусь Н.Н., Малков О.Ю., Поляченко Е.В. Современные проблемы астрономии: звездообразование и скопления // Научные труды Института астрономии РАН. – 2020. – Т. 5. – № 4. – С. 169-173.
3. Куликов И. М. и др. Математическое моделирование взрыва сверхновой типа Ia на суперЭВМ // Марчуровские научные чтения. – 2019. – № 2019. – С. 117-118.
4. Малков О.Ю. и др. Актуальные проблемы современной звездной астрономии и основные результаты исследований // Астрофизический бюллетень. – 2019. – Т. 74. – № 1. – С. 101-118.
5. Cameron A. G. W. et al. Massive supernovae, Orion gamma rays, and the formation of the solar system // The Astrophysical Journal. – 1995. – Т. 447. – № 1. – С. L53.
6. Cowan J.J. et al. R-process abundances and chronometers in metal-poor stars // The Astrophysical Journal. – 1999. – Т. 521. – № 1. – С. 194.
7. Clayton D. D., Nittler L. R. Astrophysics with presolar stardust // Annu. Rev. Astron. Astrophys. – 2004. – Т. 42. – С. 39-78.
8. Гневыхев М. Н. Об 11-летнем цикле солнечной активности // Успехи физических наук. – 1966. – Т. 90. – № 10. – С. 291-301.
9. Охлопков В. П. 11-летний индекс линейных конфигураций планет Венера, Земля, Юпитер и солнечная активность // Геомагнетизм и аэрономия. – 2020. – Т. 60. – № 3. – С. 393-403.
10. Spaceweatherlive. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.spaceweatherlive.com> (дата обращения: 16.02.2023).

## SOLAR ACTIVITY IN THE PAST AND IN OUR TIME

**E.I. Petukhov**, Associate Professor

**L.V. Pisarzhevsky Institute of Physical Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine**  
(Ukraine, Kiev)

**Abstract.** The article considers the current state of the issue of the formation of the Sun and the Solar system. Special attention is paid to solar activity and the theory of 11 years. The graphs of solar and geomagnetic activity from 1997 to 2022 are analyzed. Based on this study, the author revealed that the problems of solar activity are interesting for specialists in various fields of science.

**Keywords:** solar system, sun, cosmic rays, molecular clouds, solar activity.