

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

523. 745

## ОБ 11-ЛЕТНЕМ ЦИКЛЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

*М. Н. Гневашев*

В результате выполнения программ Международного геофизического года, года геофизического сотрудничества и года спокойного Солнца накопилось большое количество наблюдений за солнечной активностью и ее влиянием на земную атмосферу.

Новые данные показали, что как явления на Солнце, так и их влияние на Землю значительно многообразнее, чем считалось до недавнего времени. Оказалось, в частности, что энергетический диапазон частиц, вылетающих во время активных процессов на Солнце, так широк, что включает в себя и космические частицы. Все больше получается подтверждений того, что солнечные корпускулы не только действуют на магнитосферу и ионосферу Земли, но и приводят к крупномасштабным изменениям в тропосфере, вызывают изменения в некоторых коллоидах и, таким образом, вмешиваются в химические и биологические процессы.

В результате в проблемах солнечной активности оказались заинтересованными не только астрофизики, геомагнитологи и радиофизики, но и специалисты по физике плазмы, космическим лучам, верхним и нижним слоям земной атмосферы, некоторым разделам химии, биологии и медицины.

Освоение межпланетного пространства неизмеримо увеличило актуальность исследований солнечных радиаций и вызывающих их активных процессов на Солнце.

В этой статье суммируются некоторые результаты наблюдений наиболее грандиозного явления в солнечной системе — 11-летнего цикла солнечной активности, проявления которого в своих областях находят представители всех вышеперечисленных специальностей. При этом автор ставит своей целью приведение в систему важных эмпирических закономерностей, обнаруженных в последнее время, главным образом, в результате наблюдений солнечной короны вне затмений.

Эти закономерности, с одной стороны, должны лечь в основу модели солнечных явлений, а с другой — служить отправными пунктами при поисках и уточнениях солнечно-земных связей и их практических применений.

В середине прошлого века сначала Швабе, а затем Вольфом было установлено, что количество пятен на Солнце меняется со средним периодом 11 лет. В дальнейшем выяснилось, что такие же изменения претерпевают и средние значения площадей пятен и факелов, а также все характеристики хромосферных образований (флоккулы и хромосферные вспышки), протуберанцев, активных образований в короне и всех видов активного излучения (радиоизлучения, корпускулярного и ультрафиолетового). Таким образом, в 11-летнем цикле изменяется состояние всех доступных наблюдению слоев Солнца.

Вскоре было установлено, что аналогичным образом изменяется число магнитных бурь, полярных сияний, интенсивность земных токов, а также состояние ионосферы и связанных с ним условий прохождения радиоволн. Наличие 11-летних колебаний в тех или иных явлениях на Земле стало рассматриваться как доказательство обусловленности этих явлений солнечной активностью.

Одновременно стали делаться попытки объяснения 11-летнего цикла. Сейчас уже представляет только исторический интерес применение периодограммного анализа к кривой чисел пятен для проверки гипотезы возникновения периодических процессов на Солнце под влиянием планет. Безуспешность этого направления привела Вальдмайера к рассмотрению 11-летнего цикла, имеющего быстрый подъем и постепенный спад, как взрывного процесса. Открытие магнитных полей в пятнах и закономерностей в распределении полярности по полушариям и изменении этого распределения со сменой цикла способствовали появлению гипотезы Бьеркнеса. В дальнейшем стали учитываться и циркуляционные, и другие процессы в высокоионизированной среде (гипотезы Альвена, Бебкока и др.).

Так как всякая теория, призванная объяснить физическую природу 11-летнего цикла, должна основываться на эмпирически установленных свойствах цикла, объяснять их и ни в коем случае не противоречить им, то прежде всего необходимо снова проверить и уточнить эти свойства, учтя обширные новые материалы.

До недавнего времени наши сведения о свойствах 11-летнего цикла были весьма скудны и все они были получены либо в прошлом веке, либо в начале текущего. Основные свойства таковы.

Каждый новый цикл обнаруживается по появлению образований в высоких широтах (около  $40^\circ$ ). В дальнейшем с развитием цикла новые образования появляются все ближе к экватору (закон Шперера). Исключение наблюдается в высокоширотных областях, где максимальная активность протуберанцев и короны смещается к моменту максимума цикла к полюсам. Однако высокоширотные протуберанцы и корональные области как по своим размерам, так и частоте и интенсивности излучения ничтожны по сравнению с образованиями на широтах меньше  $40^\circ$ .

Распределение магнитной полярности в группах пятен одинаково у пятен одного полушария в течение всего 11-летнего цикла и противоположно таковому у пятен другого полушария. С началом нового цикла распределение полярности в обоих полушариях меняется на обратное (закон Хела).

Анализ новых данных и в особенности результатов систематических наблюдений за солнечной короной вне затмений заставил ввести в вышеописанные закономерности 11-летнего цикла существенные изменения и позволил выявить новые подробности<sup>1-8</sup>.

Новые возможности возникли благодаря тому, что к концу 19-го цикла накопилось количество наблюдений короны, достаточное для сравнения между собой данных разных обсерваторий. Это позволило отделить реальные изменения в короне от кажущихся, отражающих нестабильность системы измерений на той или иной обсерватории<sup>1</sup>.

Основной вывод, который при этом был сделан, это то, что 11-летний цикл представляет собой не одну, а две волны усиления активности, обладающие разными физическими свойствами. Это хорошо видно на рис. 1. На нем по оси абсцисс отложены годы, а по оси ординат — интенсивность корональной линии 5303 Å в абсолютных единицах. Каждая кривая соответствует определенной широте, указанной

справа. Нуль-пункты всех этих кривых смещены по оси ординат, чтобы не было наложения кривых друг на друга. Слева черточками указаны нуль-пункты, а цифры у них — к какой широте относится данный нуль-пункт. Все кривые начерчены в одном масштабе интенсивностей, который показан слева вертикальной чертой, длина которой соответствует 100 абсолютным единицам интенсивности. Кривые построены по данным, усредненным по полугодиям.

Из рис. 1 видно, что в 19-м цикле было два максимума: первый в 1957 г. и второй в 1959—1960 гг. Первый максимум характерен тем, что усиление и затем уменьшение интенсивности короны происходило одновременно на всех широтах. Второй максимум появляется только в низких широтах, причем, начиная с  $15^\circ$  он даже больше первого.

На основании данных рис. 1 можно построить рис. 2, на котором показана зависимость интенсивности короны (ординаты) от широты (абсциссы) для ряда полугодий. Видно, как с приближением к первому максимуму (1957 г.) происходит одновременно увеличение интенсивности на всех широтах. При этом максимальная интенсивность остается на одной и той же широте, около  $25^\circ$ . Пунктиром начерчена кривая, относящаяся ко времени второго максимума (1960 г.). В это время наибольшая интенсивность наблюдается на широтах около  $13^\circ$ .

Рис. 1 и 2 говорят о том, что нет постепенного сползания к экватору максимума интенсивности короны, как это должно было бы быть согласно закону Шперера. Вместе с тем такое постепенное уменьшение широты можно получить, если подсчитать среднюю широту, взвешенную за интенсивность. Крылья обоих максимумов накладываются друг на друга, поэтому при вычислениях средних значений широты влияние первого максимума будет уменьшаться, а второго увеличиваться с приближением к концу цикла. Однако из рис. 1 и 2 видно, что полученное таким образом монотонное уменьшение широты является фиктивным, а на самом деле 11-летний цикл представляет собой два процесса, частично накладывающихся друг на друга во времени, но центры которых находятся на разных неизменных широтах.

Для оценки достоверности сделанных выводов существенно то, что рис. 1 находится в согласии с результатами многочисленных наблюдений короны во время затмений. Действительно, известно, что в годы максимума цикла (т. е. во время первого максимума) корона видна ярко

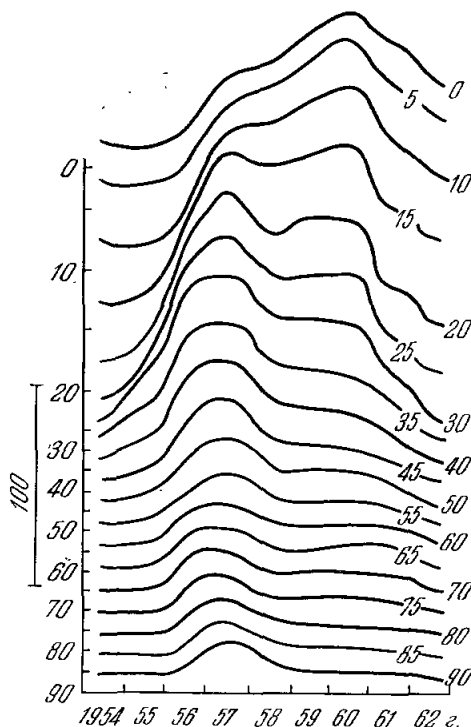


Рис. 1. 11-летний цикл интенсивности корональной линии 5303 Å на разных широтах.

Абсциссы — годы. Ординаты — интенсивности, масштаб которых показан вертикальной чертой слева. Цифры справа — гелиографические широты. Метки слева — нуль-пункты кривых. Цифры у меток — гелиографические широты, к которым относится метки.

светящейся вокруг всего диска, а во второй половине цикла (время второго максимума) яркость велика только вблизи экватора.

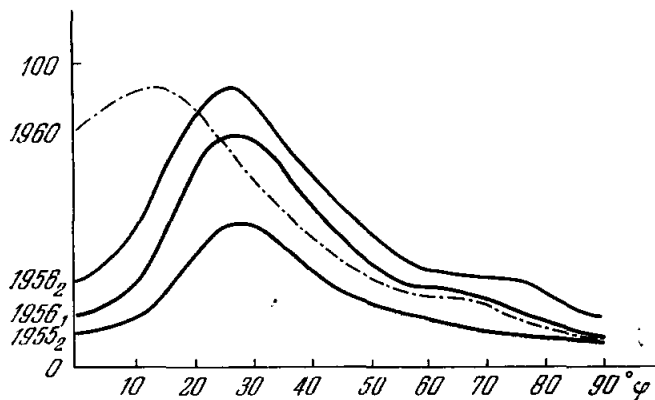


Рис. 2. Зависимость интенсивности короны (ординаты) от широты (абсциссы) для ряда полугодий, указанных у кривых слева.

Рис. 1. построен по данным, усредненным по обоим полушариям. Аналогичные кривые, полученные отдельно для северного и южного полушарий<sup>3</sup>, не меняют сделанных выше выводов.

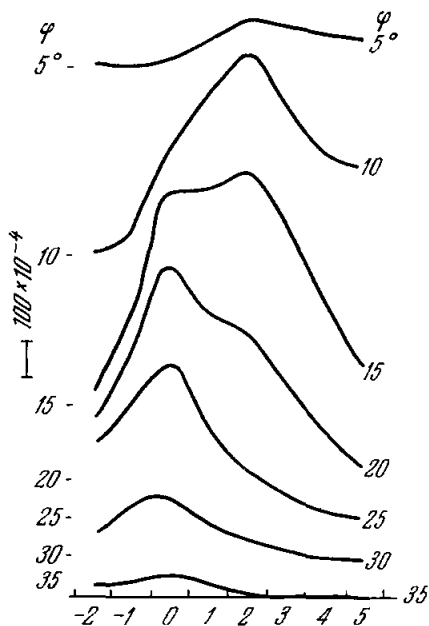


Рис. 3. Изменения площади пятен в пятиградусных интервалах широт в течение 11-летнего цикла.

Абсциссы — годы, считающиеся от момента первого максимума. Цифры справа — широты, к которым относятся соответствующие кривые. Метки слева и цифры у них указывают нуль-пункты кривых. Ординаты — площади пятен, масштаб которых показан вертикальной чертой слева.

Далее, естественно, возникает два вопроса: 1) являются ли описанные свойства цикла № 19 присущими только солнечной короне или они характеризуют явления и в хромосфере, и в фотосфере; 2) можно ли распространить выводы, сделанные по материалам цикла № 19, на все остальные циклы?

Ответ на первый вопрос был уже дан в<sup>1</sup>. Было показано, что пятна и протуберанцы обнаруживают такие же два максимума, если представить характеристики этих явлений на кривых, аналогичных рис. 1 для короны. В работе<sup>3</sup> это исследование было повторено на значительно большем материале. Были использованы данные о площадях солнечных пятен с 1874 по 1962 г. по Гринвичскому и Пулковскому каталогам. Для восьми циклов, охватываемых этим периодом, были построены кривые, аналогичные рис. 1, и затем эти кривые для отдельных циклов были совмещены между собой. При этом обращалось внимание на то, чтобы достигалось наилучшее совмещение всех кривых, относящихся к разным широтам одного цикла

с соответствующими кривыми других циклов. Очевидно, что такой способ совмещения значительно точнее, чем обычно применявшийся,

когда циклы совмещались по моментам их максимальных значений, которые в большой степени случайны и могут зависеть от ошибок наблюдений. В примененном нами способе совмещения ошибки или случайные отклонения отдельных величин не могут повлиять на окончательный результат, так как при совмещении обращалось внимание на совпадение многих кривых, относящихся к разным широтам.

Результат усреднения по всем циклам представлен на рис. 3. На нем, как и на рис. 1, отчетливо видно, что в 11-летнем цикле развивается сначала один максимум, одновременно на всех широтах, а позднее второй только на низких широтах.

Рис. 3 так же, как и рис. 1, противоречит закону Шперера. Действительно, на кривых, относящихся к широтам  $15-20^\circ$ , видно влияние как первого, так и второго максимумов. Это говорит о том, что низкоширотный второй максимум в конце цикла (видимый на кривых для широт  $5$  и  $10^\circ$ ) представляет собой самостоятельный процесс, а не является результатом смещения активности с высоких широт (кривые для широт  $35$ ,  $30$  и  $25^\circ$ ) в начале цикла к низким в конце, как это должно было бы быть по закону Шперера.

На рис. 4 показана зависимость площади пятен от широты для моментов первого и второго максимумов для циклов с 12 по 19.

Абсолютные измерения интенсивности короны в течение 18-го цикла производились на обсерватории Пик дю Миди. Эти данные говорят о том, что в этом цикле были два максимума активности<sup>3</sup>.

Как из рис. 3, на котором площади пятен усреднены по всем восьми циклам, так и из аналогичных кривых для каждого из этих циклов следует, что два максимума с описанными свойствами присущи всем циклам. В разных циклах интервал времени между первым и вторым максимумами различен, а следовательно, различна и степень наложения их крыльев. В тех случаях, когда этот интервал времени достаточно велик, два максимума в 11-летнем цикле видны даже на значениях площадей пятен, просуммированных по всему диску. Так было, например, в 1905 и 1908 гг., в 1926 и 1928 гг., в 1947 и 1949 гг..

Если два максимума близки по времени один к другому, то их взаимное наложение велико и на суммированных по всему диску индексах солнечной активности они не разрешаются, и мы видим одновершинную 11-летнюю кривую. В этих случаях для разделения максимумов можно использовать то, что их центры находятся на разных широтах (см. рис. 4). Для этого необходимо построить 11-летние кривые отдельно для узких (шириной  $5^\circ$ ) интервалов широт, как это сделано на рис. 1 и 3.

Таким образом, наличие двух максимумов активности является обязательным свойством всех 11-летних циклов. Интервал времени между максимумами, а следовательно, и степень их наложения друг на друга определяют форму суммарной 11-летней кривой. Это относится ко всем явлениям в короне, хромосфере и фотосфере.

Существенно, что два максимума выделяются лучше по более активным образованиям. На рис. 5 показано (верхняя кривая), как в среднем

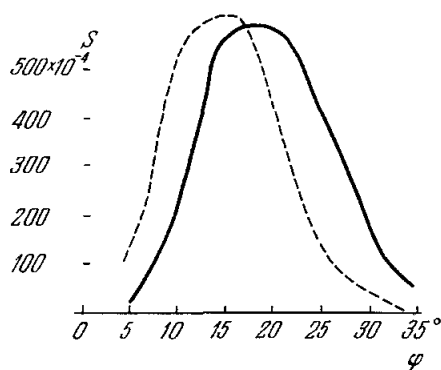


Рис. 4. Зависимость площади пятен (ординаты) от широты (абсциссы) во время первого и второго максимумов. Значения площади усреднены за восемь циклов.

за восемь циклов менялось число пятен с площадью меньше 200 единиц (миллионных долей полусферы Солнца); средняя кривая — то же с площадью от 200 до 500 единиц и нижняя — больше 500 единиц. Все числа случаев за год (ординаты) выражены в процентах к их общему числу за цикл. Абсциссы — время в годах, считаемое так же, как и на рис. 3.

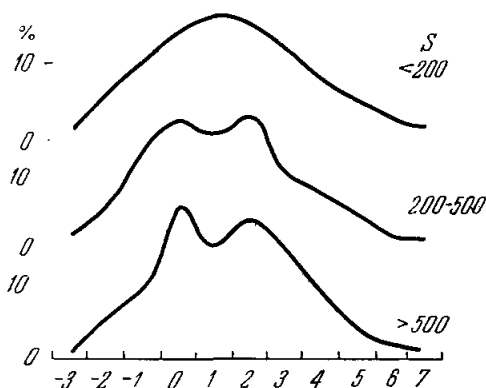


Рис. 5. Изменение числа групп пятен в 11-летнем цикле.

Верхняя кривая — число пятен с площадью меньше 200 единиц, средняя кривая — число пятен с площадью от 200 до 500 единиц и нижняя кривая — число пятен с площадью больше 500 единиц. Ординаты — числа групп пятен в процентах к общему числу групп данного размера в цикле. Абсциссы — время в годах, отсчитываемое аналогично рис. 3.

нечной станции на Анакапри, отличающихся большой полнотой и однородностью. Число протонных вспышек подсчитано по каталогу, опубликованному в <sup>8</sup>. На рис. 6 видно, что оба максимума ярко выражены в числе протонных вспышек, имеющих большое значение для явлений на Земле. Если из числа протонных вспышек выделить космические вспышки, излучающие наиболее энергичные частицы, то можно заметить, что число последних особенно велико во время второго максимума.

В числе хромосферных вспышек также отразился второй максимум в виде ступеньки на кривой в 1960 г.

Из сравнения пунктирной и сплошной кривых рис. 6, а также учитывая сделанное выше замечание о космических вспышках, можно прийти к выводу, что чем энергичнее явление, тем больше его участие во втором максимуме.

Описанные два максимума в 11-летнем цикле позволяют выяснить интересные свойства радиоизлучения Солнца <sup>4</sup>.

Накопленные до настоящего времени данные о солнечном радиоизлучении получены на установках с малым угловым разрешением, и потому

Видно, что малые пятна дают сглаженную кривую 11-летнего цикла, которая легла в основу сложившихся ранее представлений о законе его развития. Числа больших и очень больших пятен отчетливо указывают на то, что на самом деле 11-летний цикл состоит из двух накладываются процессов.

Особый интерес представляет исследование двухвершинности 11-летних циклов у хромосферных вспышек <sup>8</sup> и в радиоизлучении Солнца <sup>4</sup>.

На рис. 6 показано, как изменялось в 19-м цикле число хромосферных вспышек (пунктирная кривая) и число протонных вспышек по годам. Число хромосферных вспышек взято из наблюдений шведской сол-

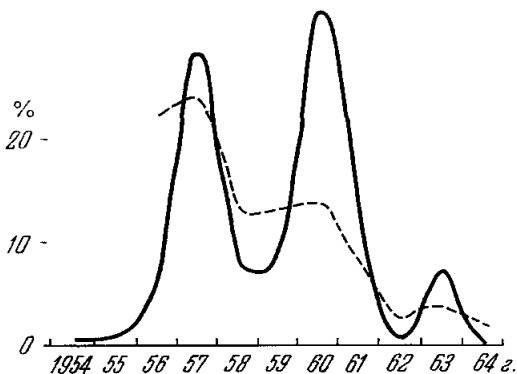


Рис. 6. Изменение числа хромосферных вспышек (пунктирная кривая) и числа протонных вспышек (сплошная кривая).

Ординаты — числа вспышек за год в процентах к их общему числу за цикл. Абсциссы — годы.

измеренные потоки представляют собой суммарное излучение от всего диска Солнца, а для метровых волн включают излучение короны.

На рис. 7 показано, как менялся поток радиоизлучения на разных волнах от 3 до 450 см в течение 19-го 11-летнего цикла. Длина волны в см указана слева у каждой кривой.

Кривые рис. 7 по их форме можно разделить на три группы. Первая группа (волны от 3 до 30 см) характерна тем, что в 11-летнем цикле повторяет одновершинную кривую площади пятен, просуммированную по всему диску Солнца. В 19-м цикле имело место сильное паложение друг на

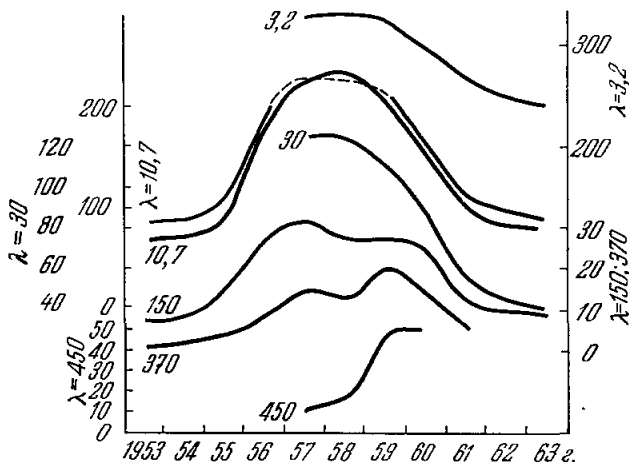


Рис. 7. Сравнение 11-летней кривой потока  $F$  радиоизлучения Солнца на разных длинах волн  $\lambda$  в см.

Абсциссы — годы. Ординаты — поток в  $10^{-22}$  ат·см<sup>2</sup>. У кривых слева написаны  $\lambda$  в см.

друга первого и второго максимумов, и потому они разделяются только на кривых, построенных отдельно для разных широт (по образцу рис. 3).

(В предыдущем 18-м цикле интервал времени между обоими максимумами был больше, и поэтому на кривых как площадей пятен, суммированных по всему диску, так и радиоизлучения на дециметровых волнах видны оба максимума.)

Вторая группа (волны 150 и 370 см) характерна наличием двух максимумов. Наконец, третья (волна 450 см), для которой наблюдения, к сожалению, производились непродолжительное время, обнаруживает только второй максимум.

Таким образом, на сантиметровых волнах виден только один максимум. С увеличением длины волны становится видимым и второй максимум, а при достаточно большой длине волны перестает быть видным первый максимум. Эту закономерность можно объяснить тем, что телесный угол радиоизлучения, выходящего из Солнца, уменьшается с увеличением длины волны.

Излучение на сантиметровых волнах выходит из Солнца в очень широком угле и потому суммируется излучение как от явлений, относящихся к первому максимуму (центр которого расположен дальше от направления на Землю), так и ко второму — низкоширотному. Для очень длинных волн, излучаемых в узком телесном угле, возможен прием излучения только от явлений, принадлежащих ко второму максимуму.

Аналогичным образом, используя два максимума активности в 11-летнем цикле, можно показать узость телесного угла протонной радиации Солнца<sup>4</sup>.

На рис. 8 в верхней части сплошная кривая показывает изменение годового числа случаев усиления протонной составляющей, вызывающей поглощение в полярных областях (так называемые РСА), по каталогу Бейли<sup>9</sup>. Прерывистая кривая — интенсивность корональной линии 5303 Å, усредненная по всем широтам. В нижней части рис. 8 сплошная кривая характеризует изменение средней по годам интенсивности ( $i$ ) протонной составляющей в РСА, вычисленной по данным того же каталога Бейли. Прерывистая кривая — интенсивность корональной линии 5303 Å в узком телесном угле шириной  $10^\circ$ , направленном на Землю. Из

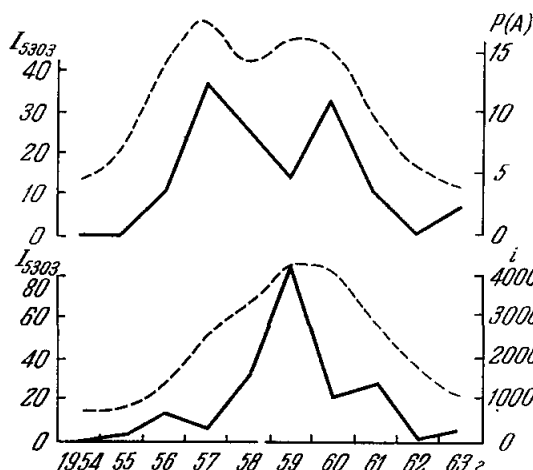


Рис. 8. Вверху: сплошная кривая — число случаев РСА по годам, прерывистая — интенсивность корональной линии 5303 Å, усредненная по всем широтам. Внизу: сплошная кривая — среднегодовая значения интенсивности ( $i$ ) протонной составляющей солнечного излучения; прерывистая — интенсивность корональной линии в телесном угле  $10^\circ$ .

Ординаты: слева интенсивность линии, справа — число случаев РСА.

Ординаты: слева — интенсивность линии 5303 Å, справа — средняя интенсивность протонной составляющей в  $\text{см}^2 \cdot \text{сек} \cdot \text{стер}$ . Абсциссы — годы.

тем не менее, формы 11-летних кривых индексов солнечной активности и геомагнитных возмущений заметно различаются. Отчасти это различие можно объяснить узостью пучков корпускулярной радиации, но существенно лучшее согласие достигается при учете вышеописанных двух максимумов<sup>7</sup>.

На рис. 9 изображена кривая планетарного индекса  $\bar{A}_p$  геомагнитной активности, введенного Бартельсом (прерывистая кривая), и кривая (сплошная) интенсивности корональной линии 5303 Å, усредненной в телесном угле  $\pm 30^\circ$  от направления на Землю. Связь между этими величинами характеризуется коэффициентом корреляции  $+0,98 \pm 0,01$ . Таким образом, геомагнитные возмущения отражают существование второго максимума, причем влияние его из-за большей близости солнечных образований к направлению на Землю более существенно, чем первого.

При поисках 11-летней цикличности в тропосферных процессах неоднократно указывалось на наличие второго максимума, но тогда он вызывал недоумения и рассматривался как доказательство отсутствия связи, поскольку в солнечных явлениях его не замечали.

рис. 8 следует, что в то время как число РСА повторяет изменения в активности на всем Солнце, наблюдаемая интенсивность протонного излучения связана с узко направленным излучением.

Таким образом, то, что 11-летний цикл состоит из двух процессов, существенно не только для построения физической модели этого явления, но и позволяет привести в одну систему многочисленные факты из разных областей.

Однако особенно важным оказался учет этих свойств 11-летнего цикла при поисках и исследованиях солнечно-земных связей.

В этом отношении прежде всего необходимо упомянуть связь между солнечной активностью и геомагнитными возмущениями. Как известно, связь между этими явлениями установлена давно, но,



В 1964 г. Б. И. Сазоновым<sup>10</sup> было опубликовано важное исследование, в котором на основании анализа 12 000 высотных барических карт северного полушария за годы с 1949 по 1962 г. было показано, что районы наибольшей повторяемости максимального и минимального давлений образуют кольцеобразные зоны, сходные с зоной полярных сияний. Это указывает на то, что их возникновение связано с вторжением солнечных корпускулярных потоков. Однако число этих тропосферных образований показало второй максимум в 11-летнем цикле в 1960 г., которого не обнаруживают обычно применяемые суммарные индексы солнечной активности. Это противоречие было устранено<sup>2</sup>, когда был обнаружен второй максимум в 11-летнем цикле солнечной активности.

На рис. 10 из<sup>2</sup> верхняя кривая показывает, как менялось число чрезвычайно мощных барических образований, а нижняя кривая — изменение интенсивности корональной линии 5303 Å, усредненной в таком же телесном угле, что и для рис. 9. Очевидно, что не случайно хорошее согласие кривых на рис. 10 достигается при той же величине телесного угла, что и при сопоставлении с геомагнитными возмущениями.

Таким образом, второй максимум явился убедительным подтверждением обусловленности тропосферных процессов солнечной активностью. В связи с этим приобретают новый смысл и значение многочисленные факты наличия двухвершинности в 11-летнем цикле, которые были обнаружены по величине стока рек Сыр-Дарьи и Аму-Дарьи и, как следствие этого, уровня Аральского моря, по уровню озера Виктория, по толщинам отложенных ленточных мергелей, илов и глин. По геологическим данным двойная волна в 11-летнем цикле, получившая название 5—6-летней цикличности, прослеживается на протяжении миллионов лет.

В 1955 г. по инициативе д-ра Дж. Пиккарди из Физико-химического института во Флоренции были начаты интересные наблюдения за поведением коллоидов на ряде специально организованных станций на различных географических широтах. Оказалось, что некоторые химические тесты изменяются одинаковым образом на всех этих станциях

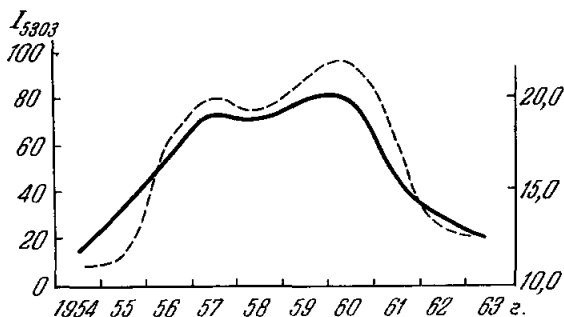


Рис. 9. Планетарный индекс  $\bar{A}_p$  геомагнитной активности (прерывистая кривая) и интенсивность корональной линии 5303 Å (сплошная кривая), усредненная в телесном угле  $\pm 30^\circ$  от направления на Землю.

Абсциссы — годы.

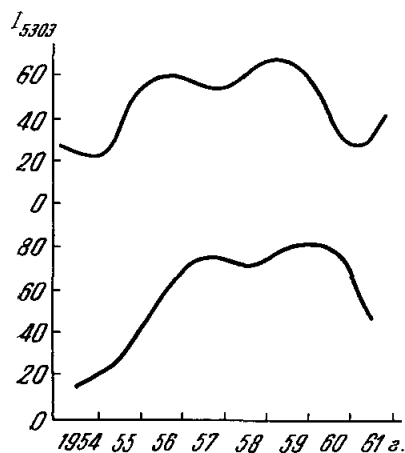


Рис. 10. Сравнение числа случаев чрезвычайно мощных барических образований (верхняя кривая) с изменением интенсивности корональной линии 5303 Å в телесном угле  $\pm 30^\circ$  от направления на Землю. Абсциссы — годы.

и обнаруживают при этом зависимость от солнечной активности. Единственным «смущающим» обстоятельством было наличие второго максимума на 11-летней кривой в изменении этих тестов<sup>11</sup>.

Как видно на рис. 11, этот второй максимум в химических тестах (прерывистая кривая) приходится на то же время, что и второй максимум в свечении корональной линии 5303 Å (сплошная кривая).

Наконец, сейчас уже имеется много указаний на то, что солнечная активность вызывает изменения состава крови. Очевидно, что физико-химически это явление связано с открытием Дж. Пиккарди. Если это так, то влияние солнечной активности должно обнаруживаться во многих

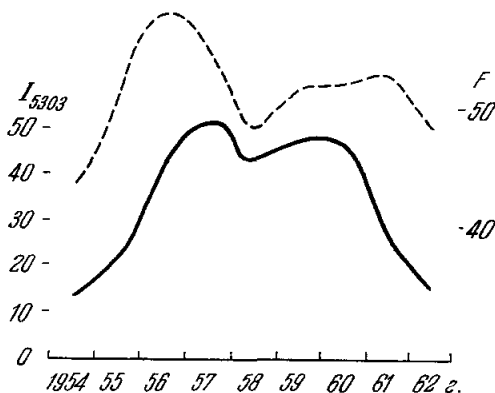


Рис. 11. Сравнение химического теста  $F$  Пиккарди (прерывистая кривая) с интенсивностью корональной линии 5303 Å (сплошная кривая), усредненной по всем широтам.

Абсциссы — годы.

химических и биологических процессах не только в атмосфере, но и в гидросфере Земли.

Действительно, указаний на наличие таких связей поступает все больше, и они заслуживают самого внимательного и тщательного исследования.

Проявления солнечной активности можно найти не только на Земле. Яркость комет также изменяется с 11-летним циклом, в котором виден второй максимум.

Таким образом, проблемы солнечной активности затрагивают широкий круг интересных и важных вопросов, которые ждут своего разрешения. В частности, весьма важно было бы обнаружить агент, могущий проникать до поверхности Земли.

Одним из важнейших направлений является исследование 11-летнего цикла солнечной активности. Из вышеизложенного видно, что, казалось бы, несущественная подробность — наличие у цикла двух максимумов активности, а не одного, приводит к весьма важным выводам как для понимания природы этого явления, так и для выяснения, уточнения и предсказания многочисленных ее следствий. Действительно, многочисленные данные о явлениях в солнечной короне, хромосфере, фотосфере, солнечном радиоизлучении, а также в магнитосфере, тропосфере и даже в некоторых химических и биологических явлениях на Земле объединяются общей схемой. Эта взаимная согласованность данных, полученных разными методами и даже из разных областей знания, является убедительным доказательством правильности этой схемы.

Конечно, закономерности 11-летнего цикла еще подлежат дальнейшему уточнению, детализации и интерпретации. Для этого большое значение имеют непрерывные и стабильные наблюдения за солнечной активностью и в особенности за солнечной короной, дающие основной материал для этих исследований.

## ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. М. Н. Гневывшев, Астрон. ж. 40 (3), 401 (1963).
  2. М. Н. Гневывшев и Б. И. Сазонов, Астрон. ж. 41 (5), 937 (1964).
  3. А. Анталова и М. Н. Гневывшев, Астрон. ж. 42 (2), 253 (1965).
  4. М. Н. Гневывшев, Астрон. ж. 42 (3), 488 (1965).
  5. M. N. Gnevyshev and A. Antalova, Publ. № 51, Czechoslovak Academy of Sciences, Astron. Institute, 1965, стр. 47.
  6. М. Н. Гневывшев, Результаты исследований по программе МГГ. Солнечная активность, 1965, стр. 99.
  7. М. Н. Гневывшев и А. И. Оль, Астрон. ж. 42 (5), 992 (1965).
  8. М. Н. Гневывшев и Л. Кривски, Астрон. ж. 43 (2), 385 (1966).
  9. D. K. Baily, Tenth Report on Solar-Terrestrial Relations of Planetary and Space Science, Pergamon Press, 1964, стр. 495.
  10. Б. И. Сазонов, Высотные барические образования и солнечная активность, М., Гидрометеиздат, 1964.
  11. G. P i k s a r d i, Geofisica e Meteorologia (Genova) 14 (3/4), 77 (1965).
-

