

УДК 523.62-726+523.31+523.34

**Л. А. Акимов, Н. П. Дятел**

Научно-исследовательский институт астрономии  
Харьковского национального университета им. В. Н. Каразина  
35, ул. Сумская, Харьков, 61022  
e-mail: akimov@astron.kharkov.ua

### **Влияние Луны на магнитосферу Земли на разных фазах цикла солнечной активности**

*Представлены результаты исследования зависимости  $A_p$ -индекса, характеризующего геомагнитную возмущенность, от фазы Луны. Методом наложения эпох обработаны данные для циклов 20—23 солнечной активности. Обнаружено, что на ветви спада солнечного цикла наибольшее увеличение  $A_p$ -индекса относительно среднего значения наблюдается вблизи новолуния. Различия между новолунием и полнолунием для величины индекса составляют около 18 %. На ветви роста и максимума солнечного цикла минимальные значения  $A_p$ -индекса наблюдаются на протяжении нескольких дней перед полнолунием, а максимальные значения на протяжении нескольких дней после полнолуния. Сделан вывод, что механизм воздействия Луны на магнитосферу Земли вблизи новолуния и полнолуния существенно различается.*

*ВПЛИВ МІСЯЦЯ НА МАГНІТОСФЕРУ ЗЕМЛІ НА РІЗНИХ ФАЗАХ ЦИКЛУ СОНЯЧНОЇ АКТИВНОСТІ, Акімов Л. О., Дятел Н. П. — Представлено результати дослідження залежності  $A_p$ -індексу, який визначає геомагнітну збуреність, від фаз Місяця. Методом накладання епох оброблено дані для циклів 20—23 сонячної активності. Виявлено, що на спадній гілці сонячної активності найбільші значення індексу  $A_p$  спостерігаються поблизу фази нового Місяця. Різниця значень індексу для фаз повного і нового Місяця складає близько 18 %. На гілках зростання та максимуму сонячної активності мінімальні значення  $A_p$ -індексу спостерігаються протягом кількох днів перед фазою повного Місяця, а максимальні — протягом кількох днів після фази повного Місяця. Зроблено висновок, що механізми впливу Місяця на магнітосферу Землі поблизу фаз нового та повного Місяця суттєво різняться між собою.*

*THE INFLUENCE OF THE MOON ON THE EARTH'S MAGNETOSPHERE AT VARIOUS PHASES OF A SOLAR ACTIVITY CYCLE, by Akimov L. A., Dyatel N. P. — The dependence of the  $A_p$ -index describing geomagnetic disturbance on phases of the Moon is studied. The available data for the 20<sup>th</sup>—23<sup>rd</sup> 11-year activity cycles are processed through the epoch superposition method. For the falling branch of a solar cycle, maximum values of the  $A_p$ -index are found to take place near new moon. The difference of the  $A_p$ -index values for new moon and full moon is about 18 %. For the phases of increase and maximum of a solar cycle, minimum values of the  $A_p$ -index are found to occur during a few days before full moon, and maximum values of the  $A_p$ -index take place during a few days after full moon. From this follows the conclusion that the effect of the Moon on the Earth's magnetosphere differs essentially for the intervals near new moon and full Moon.*

## ВВЕДЕНИЕ

Луна, являясь естественным препятствием на пути распространения солнечного ветра, оказывает влияние на земную магнитосферу. Согласно модели Голда [1] вследствие взаимодействия с солнечным ветром Луна обладает наведенной магнитосферой, турбулентный след которой может простирается достаточно далеко. Первые доказательства наличия лунного следа были получены в 1963 г. спутником ИМП-1, который в момент пересечения возможного следа Луны находился на расстоянии 250 тысяч км от Земли [4].

Данные, полученные с космического корабля «Лунар Проспектор» и японского спутника «Селене», находившегося на окололунной орбите в течение полутора лет с 2007 г., позволили детально изучить электрические и магнитные свойства окружающей Луну среды и ее взаимодействие с солнечным ветром и земной магнитосферой для спокойных и возмущенных условий. Было выявлено неожиданно активное плазменное окружение вокруг Луны, магнитные аномалии, над которыми происходит нагревание электронов и отражение ионов солнечного ветра [8].

Изучение лунного плазменного следа по данным «Лунар Проспектор» показало, что на высотах 85—115 км над поверхностью Луны наблюдается увеличение магнитного поля в центральной части следа и его уменьшение вблизи границ. Магнитная картина следа на этих высотах соответствует изменениям параметров солнечного ветра, в то время как на высоте 20—25 км она зависит от поверхностных полей [5].

Ежемесячное влияние Луны на геомагнитную активность исследовалось неоднократно. Но результаты часто оказывались противоречивыми. В работе [7] по данным за 30-летний период, начиная с 1931 г., не выявлена корреляция индексов  $K_p$  с лунной фазой. Однако

в работе [11] по этим же данным для циклов 17—19 солнечной активности показано, что наблюдается уменьшение  $K_p$ -индекса на 4 % относительно среднего значения в течение нескольких дней до полнолуния и увеличение на такую же величину на протяжении нескольких дней после полнолуния. В то же время в работе [3] по индексу авроральной электроструи найдено увеличение возмущенности геомагнитного поля в новолуние при минимальной солнечной активности летом 1964 г.

Нам представляется важным дальнейшее изучение проблемы лунного влияния на геомагнитное поле. В данной работе представлены результаты обработки наблюдений геомагнитной активности за циклы 20—23 солнечной активности. При этом мы использовали значения  $A_p$ -индекса, который является линейной функцией амплитуды флуктуаций параметров магнитного поля, определяемого на наблюдательных станциях. С нашей точки зрения  $A_p$ -индекс является более подходящим параметром для статистических исследований, чем квазилогарифмический индекс  $K_p$ .

#### МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Свойства солнечного ветра изменяются в зависимости от фазы 11-летнего цикла солнечной активности. На ветви роста активные области располагаются на высоких широтах, где из-за дифференциального вращения фотосферы в индексах солнечной активности могут наблюдаться синодические периоды, близкие к лунному. В максимуме активные области развиваются в большом интервале широт, генерируя многочисленные вспышки с выбросами корональных масс. На ветви спада активные центры перемещаются к экватору, изменяется форма короны, в формировании параметров солнечного ветра заметную роль играют корональные дыры.

С целью изучения возможной зависимости влияния Луны на магнитосферу Земли от фазы 11-летнего цикла солнечной активности мы обрабатывали данные за циклы 20—23 как для всего массива (43 года), так и для каждого цикла отдельно. Для каждого из циклов фазой роста и максимума считались первые 2000 сут от начала цикла (66 лунаций), а фазой спада — последние 1500 сут цикла (50 лунаций). Зависимость  $A_p$ -индекса магнитного поля от фаз Луны изучалась методом наложения эпох. Ежедневные трехчасовые значения индекса были суммированы за сутки. Затем суточные значения были усреднены за 9 сут скользящим методом. Далее для каждого дня, отсчитываемого от полнолуния, суммировались значения полученного ряда по всем лунациям выделенного интервала обработки, а эта сумма делилась на число лунаций.

На рис. 1, *a* приведена средняя зависимость суточного значения  $A_p$ -индекса от положения Луны на орбите по всем данным с 1965 г. по

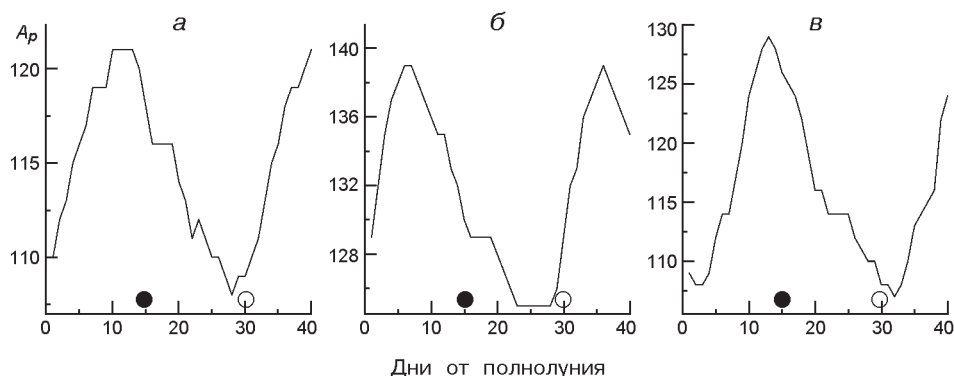


Рис. 1. Средняя зависимость  $A_p$ -индекса от фаз Луны: *а* — по наблюдениям с 1 января 1965 г. по 31 декабря 2007 г., *б* — на ветви роста и максимума солнечной активности для 20—23-го циклов, *в* — на ветви спада солнечной активности для 20—23-го циклов

2007 г. Отсчет дней по оси абсцисс ведется от полнолуния. Видно, что перед полнолунием значения индекса уменьшаются, а после полнолуния — увеличиваются. Этот график в общих чертах подтверждает выводы работы [11] для циклов 17—19 солнечной активности.

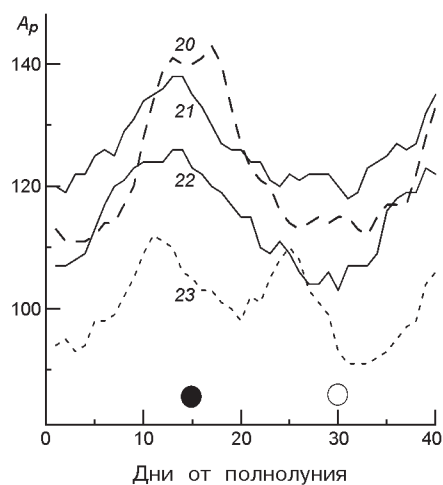
Изучение зависимости  $A_p$ -индекса от фазы Луны на ветви роста и максимума активности, построенной для каждого цикла отдельно, показало, что фаза всплеска на кривой заметно изменяется от цикла к циклу, что, вероятно, связано с вкладом высокоширотных активных областей, имеющих синодический период вращения, близкий к лунному. Однако для усредненной кривой по всем циклам (рис. 1, б) имеется более выраженная, чем на рис. 1, а, тенденция увеличения  $A_p$ -индекса после полнолуния, и уменьшения индекса перед полнолунием.

На рис. 1, в представлена суммарная зависимость  $A_p$ -индекса на протяжении лунации на ветви спада активности для циклов 20—23. По этим данным видно, что максимальное значение  $A_p$ -индекса наблюдается вблизи новолуния, а минимальные — вблизи полнолуния. Здесь разность амплитуд в полнолуние и новолуние составляет около 18 %.

Представленные на рис. 1 зависимости являются статистически. О точности и повторяемости результата можно судить по рис. 2, где представлены кривые на ветви спада активности для каждого цикла в отдельности. Характер кривых для циклов 20—22 достаточно близок, несколько отклоняется от общей тенденции 23-й цикл.

Для численной оценки статистической достоверности полученных результатов для фазы спада цикла солнечной активности мы поступили следующим образом. Для каждого цикла мы вычислили среднюю квадратичную флуктуацию сигнала. Эти значения примерно равны среднему значению сигнала. Учитывая то, что мы в дальнейшем усредняли данные за девять дней и по 50 лунациям, флуктуация конечного результата должна уменьшиться в  $\sqrt{50 \cdot 9} = 21.2$  раза.

Рис. 2. Зависимость  $A_p$ -индекса от фаз Луны на ветви спада цикла солнечной активности для 20—23-го циклов



Сравнение разности значений индекса в новолуние и полнолуние показало, что для 20-го цикла разность в пять раз больше средних квадратичных значений флуктуаций, рассчитанных приведенным выше способом. Для 21—23-го циклов разность превышает трехкратное значение флуктуаций. Это означает, что достоверность полученных результатов не хуже 0.99.

Поскольку полученные зависимости статистические, их нельзя применять для конкретного прогнозирования на определенный день. Величина индекса зависит от многих факторов.

## ВЫВОДЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Из полученных зависимостей  $A_p$ -индекса геомагнитной активности от фаз Луны можно сделать следующие выводы:

- а) вариации магнитного поля Земли зависят от лунных фаз;
- б) на фазе роста и максимума 11-летнего цикла солнечной активности происходит уменьшение геомагнитной активности за несколько дней до полнолуния и ее увеличение в течение нескольких дней после полнолуния;
- в) на ветви спада 11-летнего цикла солнечной активности возмущенность магнитного поля Земли усиливается в новолуние.

Известно, что геомагнитная активность формируется многими космофизическими факторами, которые по-разному проявляются в зависимости от положения Луны на орбите, от фазы солнечного цикла, от параметров солнечного ветра, от экранизации ветра Луной, от гравитационного воздействия Луны на частицы в хвосте магнитосферы Земли и плазменного окружения Луны.

На ветви спада цикла солнечной активности получено статистически достоверное увеличение возмущенности геомагнитного поля в новолуние. В этот период основной вклад в солнечный ветер дают относительно спокойные потоки из корональных дыр средних широт,

обладающие высокими скоростями до 700—800 км/с и низкими плотностями [2, 6]. Вследствие этого турбулентный след Луны вытягивается, и не исключено, что он достигает головной части земной магнитосферы, внося в нее соответствующее возмущение, усиленное экранизацией солнечного ветра Луной. Возможный механизм деформации магнитосферы Земли в результате экранирования рассмотрен в работе [3]. Кроме того, локальные магнитные поля на Луне [10], электрический заряд ее поверхности [9] могут вносить дополнительные пертурбации в параметры солнечного ветра, обтекающего Луну. Все это приводит к усилению геомагнитных возмущений на фазе спада цикла солнечной активности вблизи новолуния.

На фазе роста и максимума цикла, когда на Солнце имеется много активных областей и происходят бурные процессы, сопровождающиеся выбросами материи, плотность солнечного ветра существенно возрастает. Увеличивается количество энергичных частиц в радиационных поясах. Возникают большие магнитные бури. В целом возрастает геомагнитная активность.

Луна за несколько дней до полнолуния входит в хвост магнитосферы и через несколько дней после полнолуния выходит из него. Из-за движения Земли по орбите со скоростью 30 км/с на ведущей границе магнитосферы плотность ветра и концентрация магнитного поля выше, чем на ведомой границе. Суммарное магнитное поле земного диполя и солнечного ветра на границах различаются из-за спиральной структуры межпланетного магнитного поля, вектор которого направлен под углом  $45^\circ$  относительно земной орбиты. Не исключено, что Луна способствует высыпанию частиц из токового и плазменного слоя магнитосферы в полярные области при прохождении через ведущую границу хвоста магнитосферы или препятствует этому высыпанию при прохождении ведомой границы. Луна своим гравитационным полем также воздействует на хвост магнитосферы, что должно приводить к возмущению в токовом слое и магнитном поле хвоста.

Таким образом, мы видим, что возмущение магнитосферы Луной и передача этого возмущения на магнитное поле, измеряемое на наблюдательных станциях, проявляется по-разному вблизи новолуния и полнолуния. Детальный механизм воздействия Луны на магнитосферу Земли необходимо разрабатывать.

При изучении влияния Луны на биосферу Земли следует учитывать и возможный магнитосферный аспект такого влияния.

1. *Голд Т.* Магнитосфера Луны // Солнечный ветер. — М.: Мир, 1968.—С. 418—429.
2. *Грингауз К. И., Безруких В. В., Веригин М. И., Котова Г. А.* Наблюдения рекуррентных высокоскоростных потоков солнечного ветра на фазе спада 21 цикла солнечной активности при помощи широкоугольного энергоспектрометра ионов на спутнике «Прогноз 9» // Космич. исслед.—1987.—**25**, № 1.—С. 86—92.
3. *Гуляев Р. А., Гуляева Т. Л.* Возможный негравитационный механизм воздействия Луны на биологические процессы // Биофизика.—1992.—**37**, Вып. 3.—С. 541—545.

4. *Hecc H. Ф.* Вероятное наблюдение турбулентного следа Луны // Солнечный ветер. — М.: Мир, 1968.—С. 430—437.
5. *Halekas J. S., Bale S. D., Mitchell D. L., Lin R. P.* Electrons and magnetic fields in the lunar plasma wake // J. Geophys. Res.—2005.—**110**.—A07222.—17 p.
6. *Hewish A., Bravo S.* The sources of large-scale heliospheric disturbances // Solar Phys.—1986.—**106**, N 1.—P. 185—200.
7. *Michel F. C., Dessler A. I., Walters G. K.* A search for correlation between  $K_p$  and the lunar phase // J. Geophys. Res.—1964.—**69**, N 19.—P. 4177—4181.
8. *Saito Y., Ykota S., Tanaka T., et al.* The solar wind — Moon interaction discovered by MAP-PACE on CAGUYA // Fall Meeting AGU.—2009.—Abstr. N P32A.
9. *Sonnet C. P., Mihalov J. D.* Lunar fossil magnetism and perturbation of the solar wind // J. Geophys. Res.—1978.—**77**, N 4.—P. 588—603.
10. *Sonnet C. P., Runcorn S. K.* Electromagnetic evidence concerning the lunar interior and its evolution // Moon.—1973.—**8**, N 3.—P. 308—334.
11. *Stolov H. L., Cameron A. G. W.* Variation of geomagnetic activity with lunar phase // J. Geophys. Res.—1964.—**69**, N 23.—P. 4975—4975.

Поступила в редакцию 25.10.10