



ISSN 2411–6602 (Online)

ISSN 1607–2855 (Print)

Том 12 • № 1 • 2016 С. 49 – 52

УДК 523; 524.6

Долгопериодические календарные лунно-солнечные циклы

В.В. Михальчук

Астрономическая обсерватория Одесского национального университета
Национальный университет «Одесская морская академия»

Работа посвящена усовершенствованию реального (тропического) лунно-солнечного цикла. Введены календарные долгопериодические лунно-солнечные циклы (юлианский и григорианский), использующие для вычисления возраста Луны не тропический год, как в реальном лунно-солнечном цикле, а юлианский и григорианский календарные годы. Это позволяет повысить точность вычисления возраста Луны на очень большом интервале времени.

ДОВГОПЕРІОДИЧНІ КАЛЕНДАРНІ МІСЯЧНО-СОНЯЧНІ ЦИКЛИ, Михальчук В.В. — Робота присвячена удосконаленню реального (тропічного) місячно-сонячного циклу. Введені календарні довгоперіодичні місячно-сонячні цикли (юліанський та григоріанський), що використовують для обчислення віку Місяця не тропічний рік, як у реальному місячно-сонячному циклі, а юліанський та григоріанський календарні роки. Це дозволяє підвищити точність обчислення віку Місяця на дуже великому інтервалі часу.

THE LONG-PERIOD CALENDAR MOON-SOLAR CYCLES, Mikhalchuk V.V. — The paper is devoted to improvement of the real (tropical) moon-solar cycle. Calendar long-period moon-solar cycles (Julian and Gregorian), which use for the calculation of age of the Moon the Julian and Gregorian calendar years instead of tropical year, as in the real moon-solar cycle, are introduced. It allows to increase the accuracy of a calculation of the age of Moon at very large time interval.

Ключевые слова: фазы Луны; метонов цикл.

Key words: phases of the Moon; Metonic cycle.

1. ВВЕДЕНИЕ

Взаимосвязь между возрастом Луны и датой календарного года основана на лунно-солнечном цикле (метоновом цикле), продолжительность которого кратна целому числу синодических месяцев и календарных лет [2, 3, 5–7, 9]. Этот цикл применяется для приближенного вычисления возраста Луны на любую дату солнечного календаря (с максимально возможной точностью до 0,5 суток) по следующим аргументам: лунное число, номер месяца в году и номер дня в месяце. Возраст Луны определяется как интервал времени, выраженный в сутках и их долях, прошедший с момента ближайшего новолуния [3, 5].

В работе [5] была получена формула, позволяющая аналитически вычислять лунное число в первом приближении для простого метонового цикла, а в работе [6] — вековая поправка, позволяющая по этой формуле находить лунное число во втором приближении для усредненного 19-летнего цикла. В работе [8] показано, что кроме указанных двух приближений 19-летнего метонового цикла, имеющих ограниченную точность на большом интервале времени, существует еще более точное третье приближение — долгопериодический лунно-солнечный цикл (реальный или тропический), состоящий из целого числа 19-летних циклов. Этот цикл имеет период 437 лет и обеспечивает требуемую точность вычисления лунного числа на очень большом интервале времени (порядка нескольких тысячелетий). Однако его практическое использование в солнечном календаре (юлианском или григорианском) ограничено несовпадением продолжительности тропического и календарного года. Поэтому возникает необходимость ввести календарные долгопериодические лунно-солнечные циклы (юлианский и григорианский), приспособляющие универсальную формулу [5–8] не к тропическому году, а к юлианскому и григорианскому календарным годам соответственно.

2. ПРИБЛИЖЕННОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ ВОЗРАСТА ЛУНЫ В ЛУННО-СОЛНЕЧНОМ ЦИКЛЕ

Календарная дата характеризуется годом Y , номером месяца M в году и номером дня D в месяце. Для заданной календарной даты возраст Луны с точностью $\pm 0,5$ суток можно вычислить по формуле, полученной в работе [5]:

$$B = L + M + K + D, \quad (1)$$

где L — лунное число постоянное для всего года; K — дополнительная поправка за месяц, принимающая значения: $K = 2$ для января и февраля, $K = 1$ для сентября и ноября, $K = 0$ для остальных месяцев.

Михальчук Владимир Владимирович; ✉ vmihalchuk@mail.ru

Вісник Астрономічної школи, 2016, том 12, № 1

49

Лунное число можно найти по универсальной формуле [5–8]

$$L = 30 \left\{ \frac{(11 + \mu)(Y - Y_0)}{30} \right\}, \quad (2)$$

где фигурные скобки означают дробную часть заключенного внутри них выражения, μ – вековая поправка для лунного числа, $Y_0 = 1998$ – первый год основного метонова цикла. В формуле (2) применяется сплошная нумерация годов при одном значении года Y_0 . Вековая поправка для лунного числа вычисляется по формуле, полученной в работе [8]:

$$\mu = \frac{30}{P} - 11, \quad (3)$$

где P – период изменения лунного числа в 19-летнем лунно-солнечном цикле, который выражается формулой

$$P = \frac{19}{N}, \quad (4)$$

где N – число периодов изменения лунного числа в цикле.

3. КАЛЕНДАРНЫЕ ЛУННО-СОЛНЕЧНЫЕ ЦИКЛЫ

Для вычисления возраста Луны и лунного числа в календарном году введем следующие обозначения: $J = 365,25$ суток – год юлианского календаря, $G = 365,2425$ суток – год григорианского календаря. За продолжительность S синодического месяца примем его среднее значение $S = 29,530589$ суток.

В календарном летоисчислении тропический год не используется, так как его продолжительность не выражается целым числом средних солнечных суток. Календарный год должен быть близок по своей продолжительности к тропическому, но содержать в себе целое число суток. Календарные годы лежат в основе юлианского и григорианского календарей. Кроме этого, как уже отмечалось в работе [8], практическое применение формулы (2) для реального лунно-солнечного цикла ограничено по времени в связи с введением григорианского календаря в 1582 году. Чтобы применить формулу (2) к юлианскому и григорианскому календарным годам, нужно ввести соответствующие вековые поправки для лунного числа. Тогда получим календарные лунно-солнечные циклы – юлианский и григорианский.

4. ЮЛИАНСКИЙ ЛУННО-СОЛНЕЧНЫЙ ЦИКЛ

В лунно-солнечном цикле разность между 19 юлианскими годами и 235 синодическими месяцами составляет $19J - 235S = +0,061585$ суток, которая возникает через каждые 19 лет. Следовательно, юлианский лунно-солнечный цикл является долгопериодическим, а лунное число в нем увеличивается на 1 каждые 309 лет относительно своего значения в усредненном метоновом цикле.

Используя алгоритм [8], можно показать, что в юлианском лунно-солнечном цикле содержится 65 метоновых циклов, составляющие период этого цикла, равный $65 \times 19 = 1235$ лет. Расчеты показывают, что число периодов изменения лунного числа в 19-летнем цикле $N = 7,00205$ не является целым, поскольку период юлианского лунно-солнечного цикла равен 1235 лет, а не 19. Из формулы (4) получим период изменения лунного числа: $P = \frac{19}{7,00205} = 2,7134906$ года, а затем по формуле (3) вычислим соответствующее значение вековой поправки $\mu = \frac{69}{1235} = 0,0558704$ в юлианском лунно-солнечном цикле.

Юлианский год не совпадает с тропическим, и в настоящее время различие между ними достигает 13 суток. Для вычисления возраста Луны в юлианском лунно-солнечном цикле можно пользоваться формулой (1), но подставляя в нее дату старого стиля. При этом все лунные даты [5, 7], в том числе и главная лунная дата года (24 июня), остаются без изменений. Главная лунная дата года привязана к середине юлианского года, в настоящее время ей соответствует дата 7 июля нового стиля. Из астрономических эфемерид [10] следует, что для ныне текущего юлианского лунно-солнечного цикла $Y_0 = 1986$, поскольку новолуние было 7 июля 1986 года в $4^h 55^m$ UT (24 июня по старому стилю). Последним годом этого цикла будет $Y = 1986 + 1235 - 1 = 3220$ год. Выберем его в качестве основного цикла. В табл. 1 приведены значения L^* лунных чисел для первых 20 лет нынешнего юлианского лунно-солнечного цикла, вычисленные по формуле (2), и их окончательные значения L , округленные до ближайшего целого. Пользуясь лунными числами из табл. 1, можно найти возраст Луны по формуле (1) для даты старого стиля.

Вычисленные значения лунного числа и возраста Луны для юлианского лунно-солнечного цикла приведены в примерах 1 и 2 табл. 3 (солнечные затмения).

5. ГРИГОРИАНСКИЙ ЛУННО-СОЛНЕЧНЫЙ ЦИКЛ

Разность между 19 григорианскими годами и 235 синодическими месяцами составляет $19G - 235S = -0,080915$ суток, которая возникает через каждые 19 лет. Отсюда следует, что григорианский лунно-солнечный цикл является долгопериодическим, а лунное число в нем уменьшается на 1 каждые 235 лет относительно своего значения в усредненном метоновом цикле.

Таблица 1. Лунные числа для первых 20 лет нынешнего юлианского лунно-солнечного цикла

| Y | $Y - Y_0$ | L^* | L | Y | $Y - Y_0$ | L^* | L |
|------|-----------|--------|-----|------|-----------|--------|-----|
| 1986 | 0 | 0,000 | 0 | 1996 | 10 | 20,559 | 21 |
| 1987 | 1 | 11,056 | 11 | 1997 | 11 | 1,615 | 2 |
| 1988 | 2 | 22,112 | 22 | 1998 | 12 | 12,670 | 13 |
| 1989 | 3 | 3,168 | 3 | 1999 | 13 | 23,726 | 24 |
| 1990 | 4 | 14,223 | 14 | 2000 | 14 | 4,782 | 5 |
| 1991 | 5 | 25,279 | 25 | 2001 | 15 | 15,838 | 16 |
| 1992 | 6 | 6,335 | 6 | 2002 | 16 | 26,894 | 27 |
| 1993 | 7 | 17,391 | 17 | 2003 | 17 | 7,950 | 8 |
| 1994 | 8 | 28,447 | 28 | 2004 | 18 | 19,006 | 19 |
| 1995 | 9 | 9,503 | 10 | 2005 | 19 | 0,062 | 0 |

Таблица 2. Лунные числа для первых 20 лет нынешнего григорианского лунно-солнечного цикла

| Y | $Y - Y_0$ | L^* | L | Y | $Y - Y_0$ | L^* | L |
|------|-----------|--------|-----|------|-----------|--------|-----|
| 1998 | 0 | 0,000 | 0 | 2008 | 10 | 20,484 | 20 |
| 1999 | 1 | 11,048 | 11 | 2009 | 11 | 1,532 | 2 |
| 2000 | 2 | 22,097 | 22 | 2010 | 12 | 12,580 | 13 |
| 2001 | 3 | 3,145 | 3 | 2011 | 13 | 23,629 | 24 |
| 2002 | 4 | 14,193 | 14 | 2012 | 14 | 4,677 | 5 |
| 2003 | 5 | 25,242 | 25 | 2013 | 15 | 15,726 | 16 |
| 2004 | 6 | 6,290 | 6 | 2014 | 16 | 26,774 | 27 |
| 2005 | 7 | 17,339 | 17 | 2015 | 17 | 7,822 | 8 |
| 2006 | 8 | 28,387 | 28 | 2016 | 18 | 18,871 | 19 |
| 2007 | 9 | 9,435 | 9 | 2017 | 19 | 29,919 | 0 |

Таблица 3. Примеры вычисления лунного числа и возраста Луны

| № | Календарная дата | D | M | K | Y | Y_0 | $Y - Y_0$ | Вычисленные | | Истинные | |
|---|-----------------------------|-----|-----|-----|-------|-------|-----------|-------------|-----|----------|-----|
| | | | | | | | | L | B | L | B |
| 1 | 8 августа 1914 по ст. ст. | 8 | 8 | 0 | 1914 | 1986 | -72 | 14 | 0 | 14 | 0 |
| 2 | 22 января 1898 | 22 | 1 | 2 | 1898 | 1998 | -100 | 5 | 0 | 5 | 0 |
| | (10 января 1898 по ст. ст.) | 10 | 1 | 2 | 1898 | 1986 | -88 | 17 | 0 | 17 | 0 |
| 3 | 1 мая 1185 | 1 | 5 | 0 | 1185 | 1986 | -801 | 24 | 0 | 24 | 0 |
| 4 | 19 марта 721 до н. э. | 19 | 3 | 0 | -720 | 1986 | -2706 | 23 | 15 | 23 | 15 |
| 5 | 22 октября 2137 до н. э. | 22 | 10 | 0 | -2136 | 1986 | -4122 | 28 | 0 | 28 | 0 |

Таблица 4. Сравнительные характеристики различных видов лунно-солнечного цикла

| Вид лунно-солнечного цикла | Период в годах | Число 19-летних циклов | Годы основного цикла | μ |
|-----------------------------|----------------|------------------------|----------------------|-----------|
| Простой метонов цикл | 19 | 1 | 1998–2016 | 0 |
| Усредненный метонов цикл | 19 | 1 | 1998–2016 | 0,0526316 |
| Реальный (тропический) цикл | 437 | 23 | 1998–2434 | 0,0480549 |
| Юлианский цикл | 1235 | 65 | 1986–3220 | 0,558704 |
| Григорианский цикл | 3287 | 173 | 1998–5284 | 0,0483724 |

В григорианском лунно-солнечном цикле содержится 173 метоновых цикла, составляющие период этого цикла, равный $173 \times 19 = 3287$ лет. Число периодов изменения лунного числа в 19-летнем цикле $N = 6,99730$, которое также не является целым. Из формулы (4) получим период изменения лунного числа: $P = \frac{19}{6,99730} = 2,7153321$ года, а затем по формуле (3) вычислим соответствующее значение вековой поправки $\mu = \frac{159}{3287} = 0,0483724$ в григорианском лунно-солнечном цикле.

Григорианский год близок к тропическому, поэтому для вычисления возраста Луны в григорианском лунно-солнечном цикле можно пользоваться формулой (1), подставляя в нее дату нового стиля. Началом нынешнего григорианского лунно-солнечного цикла является значение года $Y_0 = 1998$. Последним годом этого цикла будет $Y = 1998 + 3287 - 1 = 5284$ год. Выберем его в качестве основного цикла. В табл. 2 приведены значения L^* лунных чисел для первых 20 лет нынешнего григорианского лунно-солнечного цикла, вычисленные по формуле (2), и их окончательные значения L , округленные до ближайшего целого (для 2017 года округлялась разность $L^* - 30$, равная $-0,081$ суток). Пользуясь лунными числами из табл. 2, можно вычислить возраст Луны по формуле (1) для даты нового стиля.

Вычисленные значения лунного числа и возраста Луны для григорианского лунно-солнечного цикла приведены в примере 2 табл. 3.

6. ВЫЧИСЛЕНИЕ ВОЗРАСТА ЛУНЫ НА ОЧЕНЬ БОЛЬШИХ ИНТЕРВАЛАХ ВРЕМЕНИ

Примеры 1 и 2, приведенные в табл. 3, охватывают сравнительно небольшой (с точки зрения истории) интервал времени. Приведем еще три примера вычисления возраста Луны на очень большом историческом интервале времени, используя сведения о двух солнечных затмениях и одном лунном, наблюдавшихся в далеком прошлом [1, 4]. При этом следует учесть, что даты явлений, произошедших до 1582 года н.э., приводятся только по юлианскому календарю, поэтому возраст Луны в эти даты можно находить только с помощью юлианского лунно-солнечного цикла, а годы до нашей эры имеют астрономическую нумерацию [1–3, 9].

Вычисленные значения лунного числа и возраста Луны для юлианского лунно-солнечного цикла приведены в примерах 3–5 табл. 3.

Формула (2) для вычисления лунного числа является единой и универсальной, так как она применима ко всем рассмотренным видам лунно-солнечных циклов. Переход от одного цикла к другому в этой формуле осуществляется путем изменения всего двух параметров — начального года Y_0 основного текущего цикла и вековой поправки μ для лунного числа (табл. 4).

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты, полученные в данной работе:

1. Установлены долгопериодические календарные лунно-солнечные циклы (юлианский и григорианский), состоящие из целого числа 19-летних метоновых циклов. Для каждого из них вычислена вековая поправка к лунному числу.

2. Показано, что универсальная формула для лунного числа применима во всех рассмотренных видах лунно-солнечных циклов.

3. Календарные лунно-солнечные циклы позволяют просто и быстро вычислить возраст Луны с точностью $\pm 0,5$ суток на очень большом интервале времени (порядка нескольких тысячелетий), что подтверждается приведенными примерами.

1. *Бронштэн В.А.* Как движется Луна? — М.: Наука, 1990. — 208 с.
2. *Климишин И.А.* Календарь и хронология. — М.: Наука, 1990. — 480 с.
3. *Куликовский П.Г.* Справочник любителя астрономии / Под ред. В.Г. Сурдина. — М.: УРСС, 2002. — 688 с.
4. *Михайлов А.А.* Теория затмений. — М.: ГИТТЛ, 1954. — 272 с.
5. *Михальчук В.В.* Уточнение возраста Луны в лунно-солнечном цикле // Вісник Астрономічної школи. — 2009. — **6**, № 1. — С.69–72.
6. *Михальчук В.В.* Различные виды лунно-солнечного цикла и их применение для вычисления возраста Луны // Вісник Астрономічної школи. — 2012. — **8**, № 1. — С.104–107.
7. *Михальчук В.В.* Повышение точности возраста Луны и методы определения лунного числа в мореходной астрономии // Судовождение. — 2013. — **23**. — С.81–92.
8. *Михальчук В.В.* Долгопериодичность в реальном лунно-солнечном цикле // Вісник Астрономічної школи. — 2014. — **10**, № 1. — С.66–69.
9. *Селешников С.И.* История календаря и хронология. — М.: Наука, 1977. — 224 с.
10. *Mikhailchuk V.V.* Elaboration of the batch of the programs for celestial mechanics for the computation of the astronomical ephemeris // Odessa Astron. Publ. — 2001. — **14**. — P.261–264.

Поступила в редакцию 27.07.2016

Принята к печати 26.08.2016