



## ГЕОГРАФИЯ

УДК 551.590.2

### ИЗМЕНЕНИЯ ИНСОЛЯЦИИ, ВЫЗВАННЫЕ ВЛИЯНИЕМ ЛУНЫ

М.Б. Богданов, А.В. Катрущенко

Саратовский государственный университет,  
кафедра метеорологии и климатологии  
E-mail: BogdanovMB@info.sgu.ru

Проведен анализ спектра мощности временного ряда приходящего к Земле потока излучения Солнца в предположении неизменности его светимости в интервале времени с 1700 по 2000 г. в области частот, связанных с движением Луны. В спектре ряда инсоляции, наряду с основным пиком с периодом синодического месяца  $29^d.53$ , проявляются также пики, соответствующие комбинационным частотам этого месяца с гармониками годичного периода обращения Земли. Амплитуда изменения инсоляции с периодом синодического месяца составляет  $82.5 \text{ мВт/м}^2$  и приблизительно в два раза превышает максимальные амплитуды гармоник, связанных с планетными возмущениями.

#### Changes in the Insolation, caused by the Moon

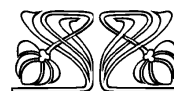
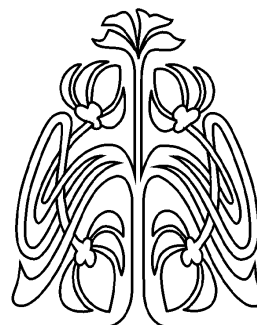
М.В. Bogdanov, А.В. Katrushchenko

The power spectrum of time series of the incoming to the Earth irradiance flux of the Sun under the assumption of the invariability of its luminosity in the time interval from 1700 through 2000 is analyzed in the region of frequencies, connected with the motion of the Moon. In the power spectrum of insolation, together with the basic peak with the period of synodic month  $29^d.53$ , are manifested also the peaks corresponding to the combination frequencies of this month with the harmonics of the annual period of the Earth. The amplitude of a change in the insolation with the period of synodic month equals  $82.5 \text{ mW/m}^2$  and approximately two times exceeds the maximal amplitudes of the harmonics, which are connected with the planetary perturbations.

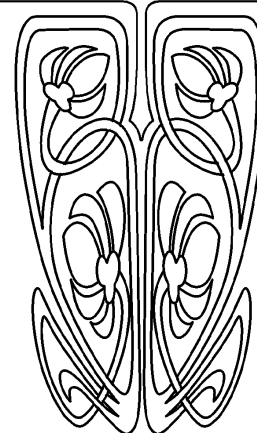
#### Введение

В последние годы возрос интерес к изучению проблемы влияния Луны на процессы, протекающие в глубинах Земли, ее атмосфере и гидросфере [1–3]. При этом определяющим является приливное воздействие Луны, способное вызывать изменения океанической циркуляции и влиять на характеристики регионального и глобального климата. Вместе с тем наличие спутника нашей планеты приводит и к изменениям инсоляции. Известно, что движение системы Земля – Луна происходит вокруг общего центра масс, не совпадающего с центром Земли. В свою очередь, этот центр в ходе годичного движения перемещается по орбите под действием притяжения Солнца, подвергаясь дополнительным возмущениям от планет Солнечной системы. В результате геоцентрическое расстояние от Солнца изменяется достаточно сложным образом, вызывая изменения величины основного климатического фактора – потока солнечного излучения. Наличие специфических обратных связей [4,5] делает глобальный климат весьма чувствительным к изменениям инсоляции.

В предыдущих исследованиях мы изучили короткопериодические изменения инсоляции, вызванные планетными возмущениями орбиты Земли [6], а также совместным действием планетных возмущений с вариацией солнечной постоянной [7]. Целью настоящей работы является анализ изменений потока солнечного излучения, связанных с влиянием Луны.



НАУЧНЫЙ  
ОТДЕЛ





### Расчет инсоляции и спектра мощности ее флуктуаций

Приближенная оценка влияния движения наблюдателя вокруг центра масс системы Земля – Луна на величину инсоляции может быть получена достаточно просто. Известно, что среднее расстояние этого центра масс от центра Земли составляет  $\Delta r = 4650$  км. Поток излучения Солнца за пределами атмосферы на среднем расстоянии  $r_0 = 1$  а.е.  $= 149.6 \times 10^6$  км определяется солнечной постоянной  $Q$ . Используя для величины  $Q$  значение  $1366.22$  Вт/м<sup>2</sup>, принятое в качестве космического абсолютного радиометрического эталона (SARR), получим амплитуду изменения инсоляции геоцентрического наблюдателя  $\Delta I = Q(\Delta r/r_0)^2 = 84.9$  мВт/м<sup>2</sup>. Очевидно, что такое изменение инсоляции будет происходить периодически с периодом, равным синодическому месяцу (промежуток времени между одинаковыми фазами Луны,  $29^d.5306$ ). В фазе полнолуния мгновенная инсоляция будет на величину  $\Delta I$  больше, а в новолунии – меньше среднего значения. Годичное движение центра масс системы Земля – Луна по эллиптической орбите, возмущаемой притяжением планет, также должно вызывать изменение геоцентрического расстояния Солнца, что, учитывая нелинейную зависимость потока от расстояния, должно приводить к наличию в спектре флуктуаций инсоляции гармоник комбинационных частот.

Для исследования проблемы с точностью современных численных методов небесной механики мы проанализировали поведение спектра мощности ранее вычисленного временного ряда

мгновенных значений инсоляции [6] с 1.01.1700 по 31.12.2000 г., содержащего 10994 отсчетов с дискретностью  $10^d$ , в области лунных гармоник. Предварительно из ряда был вычтен вклад синусоиды с периодом, равным аномалистическому году (промежуток времени между двумя последовательными прохождениями Земли перигелия,  $365.^d25964$ ), и его первой гармоники, имеющей период  $182.^d62982$ . Вновь использовался классический вариант цифрового спектрального анализа с расчетом спектра мощности  $S(f)$  путем фурье-преобразования автокорреляционной функции [8]. При выбранном максимальном сдвиге автокорреляции в 9000 отсчетов для использованного корреляционного окна Ханна ширина спектрального окна составляет  $\Delta f = 1.481 \times 10^{-5} d^{-1}$ , число степеней свободы спектральной оценки равно 3, а длина 90% -го логарифмического доверительного интервала 1.35. График логарифма спектра мощности в интересующем нас диапазоне частот  $f$  от  $0.02 d^{-1}$  до частоты Найквиста  $0.05 d^{-1}$  приведен на рисунке. Вертикальным отрезком на этом рисунке показан логарифмический доверительный интервал. Совмещая середину доверительного интервала с основанием пиков в спектре мощности можно убедиться, что большинство наблюдаемых гармоник являются статистически значимыми.

Идентификация гармоник показана у вершин пиков на рисунке набором букв и цифр. Буква является первой буквой английского наименования небесного тела, а цифра определяет номер гармоники (ноль соответствует основному периоду). Таким образом,  $L0$  – гармоника, соответствующая синодическому месяцу, а  $L0 - E0$  – комбинаци-

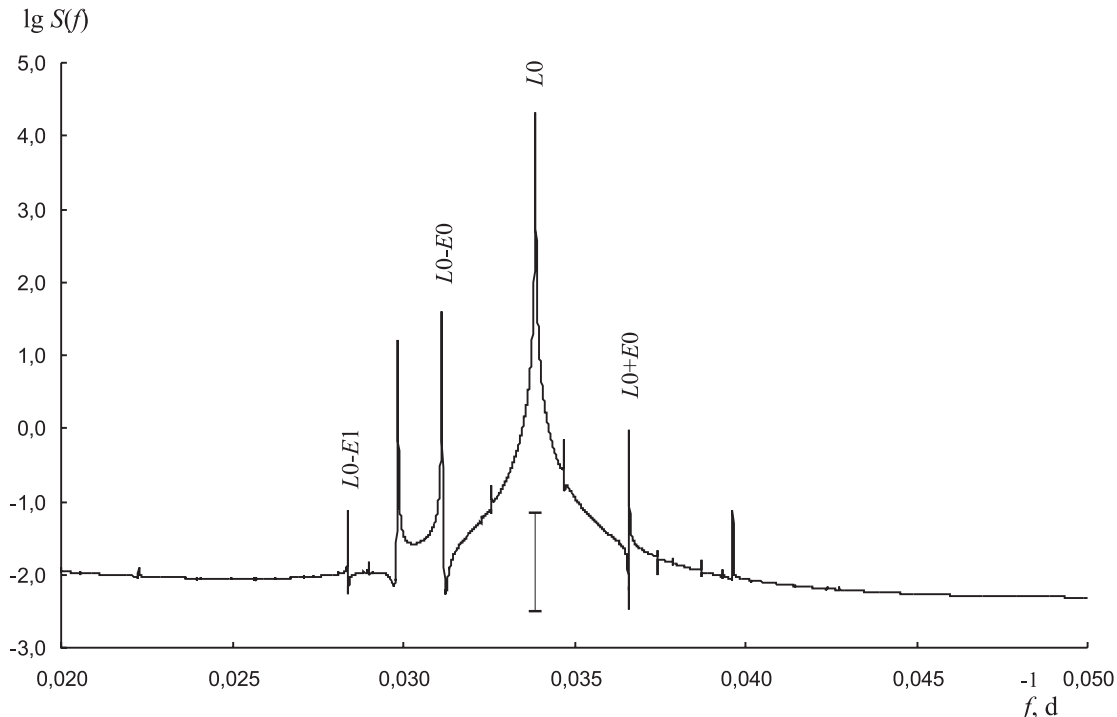


График логарифма спектра мощности временного ряда изменения инсоляции в области частот, связанных с движением Луны



онная гармоника, частота которой является разностью частоты синодического месяца и частоты, соответствующей аномалистическому году Земли. В качестве оценки амплитуды гармоники нами бралась величина

$$A(f_m) = \sigma \sqrt{2\Delta f(S(f_m) - S_0)}, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение временного ряда равное  $0.106430 \text{ Вт/м}^2$ ,  $\Delta f$  – ширина спектрального окна,  $S(f_m)$  – значение спектральной

плотности в максимуме пика, а  $S_0$  – величина спектральной плотности у основания пика, оцениваемая как полусумма значений  $S(f)$ , измеренных слева и справа от пика. Если принять, что погрешность оценки амплитуды определяется неопределенностью уровня основания пика, то в качестве ее верхнего предела можно взять величину

$$\Delta A = \sigma \sqrt{2\Delta f S_0}. \quad (2)$$

Характеристики гармоник, возникающих в спектре мощности изменения инсоляции под влиянием притяжения Луны

| $f, 10^{-2} \text{ д}^{-1}$ | $T, \text{ д}$ | $A(f), \text{ мВт/м}^2$ | $\Delta A, \text{ мВт/м}^2$ | Идентификация |
|-----------------------------|----------------|-------------------------|-----------------------------|---------------|
| 2.8385                      | 35.230         | 0.15                    | 0.06                        | $L0 - E1$     |
| 2.9845                      | 33.506         | 2.35                    | 0.08                        |               |
| 3.1125                      | 32.128         | 3.69                    | 0.08                        | $L0 - E0$     |
| 3.3865                      | 29.529         | 82.54                   | 0.07                        | $L0$          |
| 3.6600                      | 27.322         | 0.56                    | 0.08                        | $L0 + E0$     |

Характеристики наиболее заметных гармоник приведены в таблице. Значения периодов  $T$  (в средних солнечных сутках) рассчитаны как величины, обратные измеренным частотам  $f$ . Как видно из таблицы, главной гармоникой в спектре ряда инсоляции является гармоника  $L0$  с периодом синодического месяца. Ее амплитуда равна  $82.54 \pm 0.07 \text{ мВт/м}^2$ , что хорошо согласуется с полученной выше приближенной оценкой. Гармоника с номером 2 имеет частоту  $0.029845 \text{ д}^{-1}$ . Численно это значение совпадает с комбинацией частот  $L0 - (E0 + M0)$ , где  $M0$  – частота, соответствующая синодическому периоду Марса  $779.94$ . Однако отсутствие в спектре гармоник, связанных с Юпитером и Венерой, возмущающее воздействие которых на движение системы Земля – Луна должно существенно превышать влияние Марса, вызывает сомнения в правильности такой идентификации.

### Заключение

Применение современных численных методов небесной механики позволило дать ответ на вопрос о степени влияния Луны на изменение величины потока солнечной радиации. В рассчитанном спектре мощности временного ряда инсоляции обнаружен пик с периодом синодического месяца  $29^{\text{д}}.53$ , а также пики, отвечающие комбинационным частотам этого месяца с гармониками годичного периода обращения Земли. Амплитуда изменения инсоляции с периодом синодического месяца составляет  $82.5 \text{ мВт/м}^2$  и приблизительно в два раза превышает максимальные амплитуды гармоник, связанных с планетными возмущениями [6].

Малая продолжительность синодического месяца приводит к тому, что изменения инсоляции, связанные с движением вокруг центра масс системы Земля – Луна, усредняются и не влияют на глобальный климат. Однако на интервале в несколько дней эффект может стать заметным.

Как и в случае планетных возмущений, он может быть учтен путем использования при расчетах прогноза погоды реальных величин инсоляции, соответствующих точным значениям расстояния Земли от Солнца.

Представляет большой интерес попытка обнаружить проявление лунной гармоники изменения инсоляции во временных рядах метеорологических величин. В случае достаточно продолжительных рядов наблюдений эту задачу можно надеяться решить с использованием цифрового спектрального анализа.

### Библиографический список

1. Авсюк Ю.Н. Приливные силы и природные процессы. М., 1996. 188 с.
2. Wunsch C. Moon, tides and climate // Nature. 2000. V. 405. P. 743–744.
3. Treloar N.C. Luni – solar tidal influences on climate variability // Intern. J. Climatology. 2002. V. 22, № 12. P. 1527–1542.
4. Douglass D. H., Clader B. D. Climate sensitivity of the Earth to solar irradiance // Geophys. Res. Lett. 2002. V. 29. № 16. P. 1786–1789.
5. Douglass D.H., Clader B.D., Knox R.S. Climate sensitivity of Earth to solar irradiance: update // Solar Radiation and Climate (SORCE) meeting on Decade Variability in the Sun and the Climate. Meredith, New Hampshire, October 27–29, 2004. P.1–16 (<http://arxiv.org/abs/physics/0411002>).
6. Богданов М.Б., Сурков А.Н. Короткопериодные изменения инсоляции, вызванные планетными возмущениями орбиты Земли // Метеорология и гидрология. 2006. № 1. С. 48–54.
7. Богданов М.Б., Катрущенко А.В., Сурков А.Н. Изменения инсоляции, вызванные планетными возмущениями орбиты Земли и вариацией солнечной постоянной // Изв. Сарат. ун-та. Сер. Науки о Земле. 2006. Т. 6, вып. 1. С. 3–9.
8. Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения: В 2 т. М., 1972. Т.1. 316 с.