

## СВЯЗЬ МЕЖДУ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТЬЮ И ПЛАНЕТАРНЫМИ ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Локшин Д.А.,

научный руководитель д-р физ.-мат. наук, проф. Киселев В.М.

*Сибирский Федеральный Университет*

### Введение.

Под солнечной активностью понимают всю совокупность изменений в атмосфере Солнца, которые, в конечном счете, проявляются вблизи орбиты Земли в форме волнового излучения, в форме корпускулярных потоков и межпланетного магнитного поля. Вариации солнечной активности непосредственным образом связаны с эволюцией групп солнечных пятен в фотосфере, поэтому чаще всего в качестве характеристики солнечной активности рассматривают относительные числа солнечных пятен (числа Вольфа).

В настоящее время наличие солнечно-земных связей практически не подвергается сомнению, и эта проблема является одной из самых обсуждаемых в научных кругах. Анализируя выполненные исследования по обозначенной проблеме, можно отметить следующее. Во-первых, до последнего времени большинство исследователей искусственно завышали значимость геоэффективности 11-летнего цикла солнечных пятен (цикла Швабе–Вольфа). Однако еще в конце 70-х годов прошлого столетия Ю.Д. Калинин и В.М. Киселев [3] показали, что по настоящему геоэффективным является вековой цикл солнечной активности (цикл Гляйсберга). В последние годы к этому мнению склоняются и другие исследователи солнечно-земных связей [1]. Во-вторых, как правило, анализируют связь солнечной активности с каким-нибудь одним геофизическим процессом. Это, с нашей точки зрения, не совсем корректно, поскольку планетарные процессы связаны между собой. Вариации солнечной активности обуславливают их одновременные изменения. Таким образом, при статистическом анализе солнечно-земных связей имеет смысл рассматривать не коэффициенты корреляции солнечной активности с тем или иным геофизическим процессом, а коэффициент множественной корреляции и соответствующее уравнение множественной регрессии. Решению этой задачи и посвящена настоящая работа.

### 1. Числа Вольфа как характеристика солнечной активности

В качестве характеристики солнечной активности чаще всего используют относительные числа солнечных пятен  $W$ , инструментальные наблюдения которых имеются для трех последних столетий, а по косвенным данным качественные кривые вариаций  $W$  получают и для исторического интервала. Вариации среднегодовых значений чисел Вольфа  $W$  с 1700 по 2012 г. представлены на рис. 1.

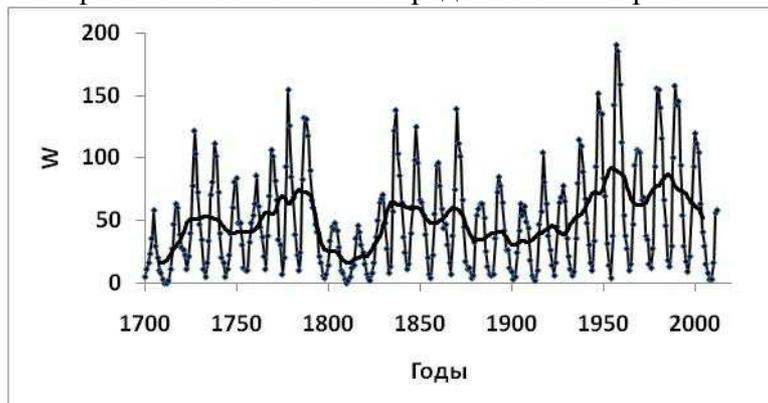


Рис. 1. Вариации чисел Вольфа в 1700–2012 гг. Жирная кривая – вековой ход.

Вековой ход  $W$  на рис. 1 показан жирной кривой, которая получена в результате сглаживания исходных данных последовательно 3-х, 5-ти и 11-летними скользящими средними.

## 2. Изменения планетарной сейсмичности с 1903 по 2012 гг.

Использовать в качестве характеристики планетарной сейсмичности величину выделившейся за год в теле Земли энергии землетрясений Ю.Д. Калинин и В.М. Киселев предложили еще в 1976 г. [4]. За последние три десятка лет мировая система сейсмических служб перешла на качественно новый уровень регистрации и обработки данных о землетрясениях. Результаты представлены в каталогах NOAA, NEIC USGS и HRV, которые и были использованы нами для вычисления среднегодовых значений энергии землетрясений  $E$  с начала инструментальных наблюдений (с 1903 г.) по 2012 г. Была использована формула Маркуса Бота  $lgE = 1,44 \cdot M_S + 5,24$  для пересчета магнитуды  $M_S$ , определяемой по поверхностным волнам, в энергию землетрясений в джоулях. Согласно этой формуле в результате землетрясений, имеющих магнитуду  $M_S = 9$ , в недрах Земли выделяется энергия порядка  $1,6 \cdot 10^{18}$  Дж.

С 1977 г. для описания сильных землетрясений сейсмологи отдают предпочтение моментной магнитуде  $M_W$ . Для построения однородного ряда  $E(t)$  все магнитуды  $M_W$  были пересчитаны в магнитуды  $M_S$  в соответствии с уравнением регрессии для данных 1977–2006 гг. Результаты вычислений представлены на рис. 2. Можно отметить, что с 11-летним циклом солнечной активности сейсмичность Земли практически не коррелирует. Вековой ход  $E(t)$  имеет три максимума: в начале 20-го столетия, в его середине и в начале 21-го столетия. Спектральный анализ ряда  $E(t)$  выявил период около 60 лет в изменениях сейсмичности [4].

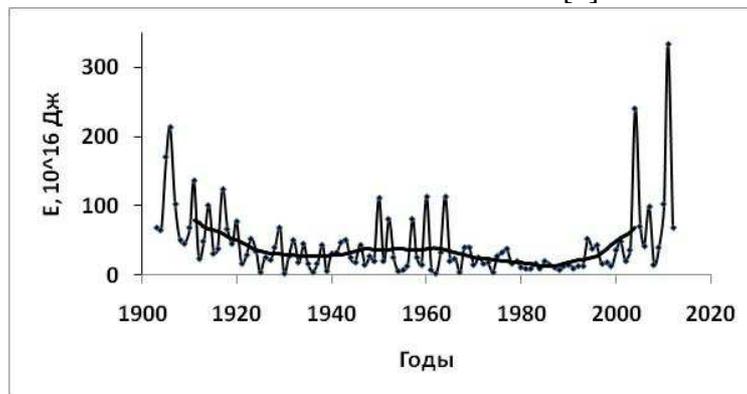


Рис. 2. Изменения сейсмичности Земли в 1903–2012 гг. Жирная кривая – вековой ход.

## 3. Вариации скорости суточного вращения Земли

Вариации продолжительности земных суток от года к году по данным IERS (Международной службы вращения Земли) представлены на рис. 3. Значения  $dP^*$  получены посредством вычитания из сглаженных  $dP$  двух членов. Во-первых, линейного тренда, соответствующего увеличению  $dP$  со скоростью 2 мс/столетие за счет приливных сил, действующих в системе «Земля–Луна–Солнце». Во-вторых, гармонического члена с периодом 60 лет, амплитудой 1,64 мс и начальной фазой 1830 г. В [3] показано, что эта гармоника в вариациях  $dP$  обусловлена азимутальными магнитогидродинамическими колебаниями в земном ядре, которые посредством электромагнитного сцепления передаются мантии. Легко показать, что если средняя за год продолжительность земных суток изменится на 0,1 мс, то это будет соответствовать изменению кинетической энергии вращения Земли на  $5 \cdot 10^{20}$  Дж за год. Это минимум на порядок больше энергии любого катастрофического землетрясения.

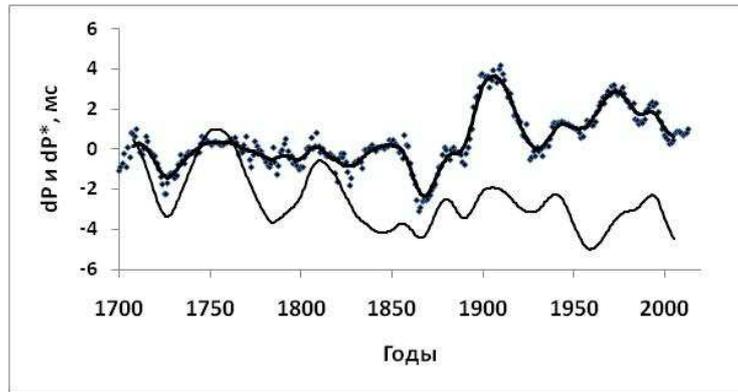


Рис. 3. Изменения продолжительности земных суток в последние 300 лет. Точки – исходные данные  $dP$ ; жирная кривая – сглаженные значения  $dP$ ; тонкая кривая – нерегулярные вариации  $dP^*$ . Пояснения в тексте.

#### 4. Планетарные аномалии поверхностной температуры

На рис. 4 представлена известная кривая среднегодовых аномалий поверхностной температуры земного шара  $\Delta T$ , отсчитанных от среднего значения  $+14^\circ\text{C}$  в 1961–1990 гг. Эта кривая подробно обсуждена в работе [5], в которой автор убедительно показывает, что ни о каком глобальном потеплении в последние десятилетия, связанным с антропогенным загрязнением атмосферы, не может быть и речи. Из рис. 4 видно, что изменения поверхностной температуры от года к году на  $0,1^\circ\text{C}$  представляют собой типичное явление. Принимая массу атмосферы равной  $5 \cdot 10^{18}$  кг, получаем, что соответствующее изменение ее внутренней энергии будет порядка  $3,5 \cdot 10^{20}$  Дж за год, т.е. сравнимо с энергией эндогенных процессов и изменением энергии суточного вращения Земли.

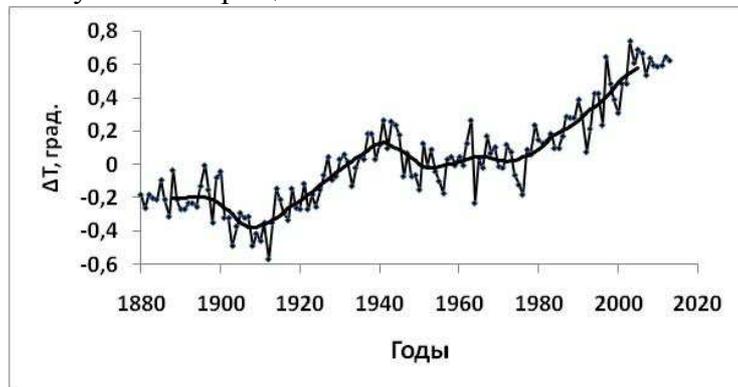


Рис. 4. Аномалии средней поверхностной температуры земного шара в 1880–2013 гг.

#### 5. Множественная корреляция солнечной активности и планетарных геофизических процессов

Рассмотрим сглаженные последовательно 3-х, 5-ти и 11-летними скользящими средними значения чисел Вольфа  $W$ , сейсмической энергии  $E$ , нерегулярных вариаций продолжительности суток  $dP^*$  и аномалий поверхностной температуры  $\Delta T$  в интервале 1911–2004 гг., т.е. фактически в 20-ом столетии. Это обусловлено тем, что данные инструментальных наблюдений сейсмичности имеются только с начала 20-го века. Коэффициент взаимной корреляции между случайными процессами  $X$  и  $Y$  будем обозначать как  $r(X, Y)$ . Выдвинем гипотезу о том, что вековой ход солнечной активности одновременно воздействует на все геофизические процессы. Проверка этой статистической гипотезы осуществляется посредством вычисления коэффициента множественной корреляции

$$\tilde{r} = \sqrt{b_1 r(W, E) + b_2 r(W, dP) + b_3 r(W, \Delta T)},$$

где  $b_1, b_2, b_3$  – компоненты вектора  $\mathbf{b}$ , определяемые из матричного уравнения

$$\begin{pmatrix} 1 & r(E, dP) & r(E, \Delta T) \\ r(dP, E) & 1 & r(dP, \Delta T) \\ r(\Delta T, E) & r(\Delta T, dP) & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r(W, E) \\ r(W, dP) \\ r(W, \Delta T) \end{pmatrix}.$$

Таким образом, для решения поставленной задачи необходимо вначале посчитать матрицу коэффициентов взаимной корреляции. Значения элементов этой матрицы представлены в таблице 1, из которой следует, что корреляция солнечной активности с сейсмичностью и продолжительностью суток отрицательная, а с ростом поверхностной температуры – положительная.

Таблица 1

Корреляционная матрица

	<i>E</i>	<i>dP</i>	$\Delta T$	<i>W</i>
<i>E</i>	1	-0,042	-0,350	-0,532
<i>dP</i>	-0,042	1	-0,044	-0,472
$\Delta T$	-0,350	-0,044	1	0,420
<i>W</i>	-0,532	-0,472	0,420	1

Коэффициент множественной корреляции получился равным  $\tilde{r} = 0,759$ , т.е. заметно выше по абсолютному значению любого из коэффициентов парной корреляции. На основании критерия Фишера это позволяет заключить, что с вероятностью 0,95 гипотезу об одновременном воздействии солнечной активности на рассмотренные геофизические процессы отвергнуть нельзя. Для центрированных рядов уравнение регрессии имеет вид:  $W = -0,523 \cdot E - 9,532 \cdot dP + 18,772 \cdot \Delta T$ .

#### Выводы

1. Солнечная активность в последние десятилетия имеет тенденцию к уменьшению. Ее вековой ход коррелирует с сейсмичностью Земли, с ее угловой скоростью вращения, с изменениями средней температуры у земной поверхности.
2. С вековым уменьшением солнечной активности в последние десятилетия возрастают сейсмичность и угловая скорость суточного вращения Земли, а поверхностная температура в последние годы начинает уменьшаться.
3. Коэффициент множественной корреляции между вековыми изменениями солнечной активности и рассмотренными планетарными геофизическими процессами равен 0,759. На уровне значимости 0,05 гипотезу о множественной статистической связи между солнечной активностью и планетарными геофизическими процессами отвергнуть нельзя.

#### Литература

1. Белов С.В., Шестопапов И.П., Харин Е.П. О взаимосвязях эндогенной активности Земли с солнечной и геомагнитной активностью. // Доклады Академии Наук. 2009. Т. 428. № 1. С. 1–4.
2. Калинин Ю.Д., Киселев В.М. Солнечная обусловленность изменений длины суток, сейсмичности Земли и геомагнитного момента. // Геомагнетизм и аэрономия. 1976. Т. XVI. С. 858–861.
3. Киселев В.М. Неравномерность суточного вращения Земли. Новосибирск: Наука, 1980. 160 с.
4. Киселев В.М. Планетарная сейсмичность в последнее столетие. Анализ и прогноз на ближайшие годы. // Тезисы докладов научного симпозиума «Геодинамическая безопасность, мониторинг и прогноз». Красноярск, март 2010. С. 30–32.
5. Abdussamatov H.I. The Sun Dictates the Climate. Fourth International Conference on Climate Change in Chicago, May 2010.