

УДК 551.521.31 : 551.510.42

## О влиянии солнечной активности на периодические вариации некоторых атмосферных и метеорологических параметров Земли

Э.И. Терез<sup>1</sup>, В.В. Иванов<sup>2</sup>, Г.А. Терез<sup>3</sup>

<sup>1</sup> НИИ «Крымская астрофизическая обсерватория», 98409, Украина, Крым, Научный

<sup>2</sup> Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, ул. Науки 5, Южно-Сахалинск, 693002, Россия

<sup>3</sup> Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, 95007, Украина, Симферополь

Поступила в редакцию 27 февраля 2006 г.

**Аннотация.** Рассчитаны последовательные временные спектры ряда атмосферных параметров (суммарного озона для станции С.-Петербург), актинометрии (станция Феодосия) и стока реки Амур). Сравнение этих временных спектров со спектром осцилляций солнечной активности показало наличие ряда общих линий, относящихся к 11-летнему, 22-летнему и 90–120-летним циклам солнечной активности.

SOLAR ACTIVITY INFLUENCE ON PERIODICAL VARIATIONS OF SEVERAL ATMOSPHERIC AND METEOROLOGICAL PARAMETERS OF THE EARTH, *by E.I. Terez, V.V. Ivanov, G.A. Terez.* Sequent temporal spectra of a number of atmospheric parameters (total ozone content for the station of St-Petersburg, actinometry for the station of Feodosia, and the river Amur flow) have been calculated. The comparison of these temporal spectra with the spectrum of solar activity oscillation showed a number of common lines related to the 11-, 22- and 90-120-year solar activity cycles.

**Ключевые слова:** циклы солнечной активности, последовательный спектральный анализ, общее содержание озона, актинометрия, сток реки Амур.

---

## 1 Введение

На протяжении последних нескольких столетий был накоплен большой наблюдательный материал о цикличности многих биологических процессов. Предполагалось, что это связано с влиянием периодических вариаций солнечной активности и, прежде всего, с хорошо известными 11-летними солнечными циклами. Одна из первых работ, обобщившая наблюдательные данные, – известная монография Чижевского (1973), в которой впервые на большом наблюдательном материале была показана корреляция целого ряда биологических явлений (частоты и продолжительности инфекционных заболеваний, смертности от эпидемий, урожайности сельскохозяйственных культур, рост древесины и т. д.) с вариациями солнечной активности. Однако в монографии Чижевского не было проведено строгого математического анализа, не вычислялись корреляции между различными процессами. Для целого ряда биологических процессов корреляция с 11-летними солнечными циклами была положительной на одном временном участке, но менялась на отрицательную на

другом временном участке. Это было необъяснимо и ставило под сомнение правильность основных выводов. Но проблема была поставлена, и ее решением занялись сотни исследователей во всем мире. На протяжении последующих десятилетий результаты по исследованию корреляции между циклами солнечной активности и биосферой были противоречивы. С одной стороны, были десятки публикаций и сотни докладов на конференциях, подтверждающих наличие четких корреляций. С другой стороны, целый ряд исследователей утверждал об отсутствии каких-либо корреляций. Известный американский геофизик Дж. Вилкоккс в противовес конференциям по подтверждению идей Чижевского даже предложил устраивать “античижевские конференции”, на которых бы докладывались отрицательные результаты. Главное, что было не объяснимым, – это механизм связей между цикличностью процессов в биосфере и солнечной активностью.

Следует отметить, что воздействие солнечной активности на верхнюю атмосферу (ионосферу) было замечено еще несколько столетий назад, хотя четкие экспериментальные данные появились только в пятидесятые годы XX века. И эти исследования продолжаются по настоящее время (Бремер, 1998; Кливерд и др., 2004). Главная трудность заключается в том, что если есть зависимость между циклами солнечной активности и биосферой, то, очевидно, должна быть и корреляция между вариациями солнечной активности и параметрами нижней атмосферы (а также метеопараметрами), где собственно и протекают биологические процессы. Но такой корреляции исследователи не смогли обнаружить.

Ситуация радикально изменилась в начале восьмидесятых годов XX века. С одной стороны, существенно возросло как количество, так и точность экспериментальных данных, прежде всего, за счет космических экспериментов. С другой стороны, открытие квазидвухлетних колебаний – КДК (Quasi-Biennial-Oscillation – QBO) (Маруйама, 1997; Лабицке, Ван Луун, 1999; Болдвин и др., 2001) позволили понять динамику глобальной циркуляции земной атмосферы. В принципе, квазидвухлетние колебания представляют переменность в направлении ветра (западное или восточное) в экваториальной стратосфере со средним периодом приблизительно 28 месяцев. Но оказалось, как это впервые отметили Холтон и Тан (1980), КДК влияют на всю глобальную атмосферу. Поэтому корреляция между метеорологическими характеристиками и индексами солнечной активности проявляется не для всех лет, а отдельно для лет с западной и восточной фазами квазидвухлетних колебаний. Этот механизм “работает” только в отдельные месяцы (зимние). Тем не менее, новый подход оказался очень продуктивным и позволил обнаружить убедительную корреляцию между целым рядом параметров глобальной атмосферы (стратосферы и тропосферы) и 11-летними циклами солнечной активности (Лабицке, Ван Луун, 2000; Ван Луун, Лабицке, 1994; Лабицке, Ван Луун, 1995), в частности, влияние цикличности осцилляций солнечной активности на количество суммарного озона (Терез Э., Терез Г., 1994, 1996; Зерифос и др., 1997; Ван Луун, Лабицке, 1999). Однако далеко не все здесь ясно и необходимо продолжать поиски корреляций, процессов и механизмов, связанных с динамическим режимом всей системы стратосфера-тропосфера в целом, с одной стороны, и цикличностью солнечной активности – с другой.

## 2 Метод исследования

Для определения периодов гармоник вариаций солнечной активности, а также других геофизических параметров, целесообразно использовать метод последовательного спектрального анализа (Иванов, 2005). Метод опирается на то обстоятельство, что при наличии записи большой длительности удается выделить относительно слабые, но чисто периодические эффекты на фоне непериодических вариаций большой амплитуды. Суть метода анализа состоит в построении последовательных спектров для любого циклического процесса. На первом этапе определяются параметры главного максимума. В дальнейшем спектр вычисляется повторно, после вычитания из сигнала периодической компоненты, соответствующей главному максимуму. Процедура повторяется до тех пор, пока исследуемый максимум не становится главным. На каждом этапе вычислений строится спектр и определяются параметры одной гармоники, соответствующей максимальной спектральной амплитуде. Результаты анализа представляются в виде суммы спектральных компонент. Для каждой компоненты вычисляются период, амплитуда в единицах

измерения наблюдаемого сигнала, и фаза, относящаяся к моменту начала записи. Результат вычисления представляется в виде последовательности компонент, упорядоченной в порядке уменьшения амплитуды, для каждой из которых вычислены период, амплитуда и фаза. Отметим, что с каждой из компонент может быть связан отдельный физический процесс, проявление которого в исследуемом явлении обнаруживается как появление линии на той же частоте.

### 3 Спектры вариации солнечной активности

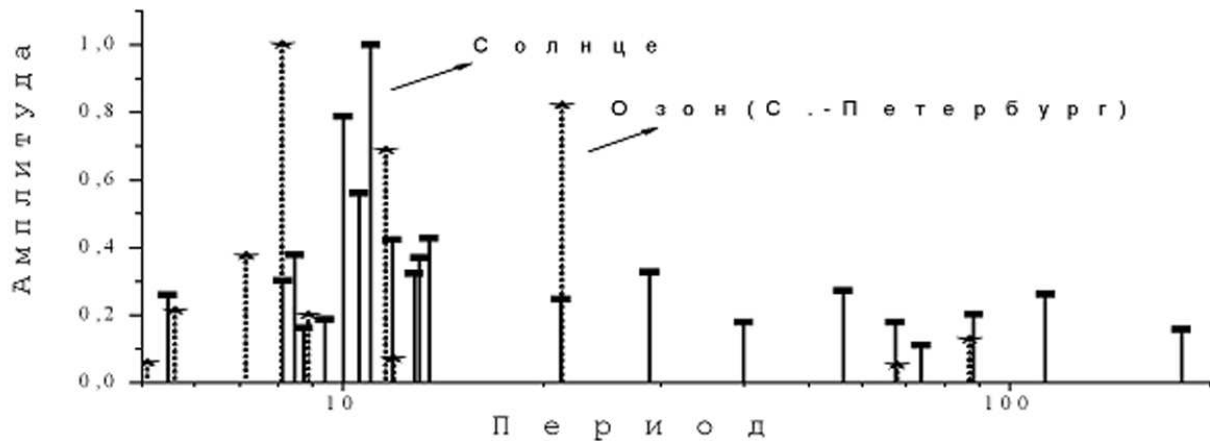
Цикличность вариаций солнечной активности была известна в глубокой древности. В 1889 г. Вольф еще до разработки математических методов на основании данных китайских средневековых летописей о северных сияниях утверждал о существовании больших периодов в 66.67 и 88.33 лет. После изобретения Фурье-анализа были выполнены десятки подобных исследований. Точность временных спектров зависит от надежности и временной протяженности базы данных какого-либо индекса солнечной активности. Поэтому по мере накопления экспериментальных данных эти исследования необходимо повторять.

Самым распространенным индексом солнечной активности является количество солнечных пятен, наблюдения которых были начаты Галилеем в 1610 г. сразу же после изобретения телескопа. Однако регулярные наблюдения за количеством солнечных пятен начались только в 1749 г. В 1849 г. в Цюрихской обсерватории была принята единая методика определения солнечных пятен (WSN). С этого года наблюдения считались наиболее надежными. В 1998 г. Хойтом и Шаттеном (1998) была сделана ревизия всех архивных записей наблюдений солнечных пятен (455 242 наблюдения, выполненных 463 наблюдателями) и разработана новая база данных GSN. Серия GSN покрывает временной период с 1610 г., (т. е. с начала наблюдений Галилеем). В 2003 г. Усоскиным и Мурсулой (2003) была проведена оценка обеих серий солнечных пятен WSN и новой GSN и показано, что серия GSN дает существенно более точные значения количества солнечных пятен, особенно до 1849 г.

Таблица 1. Последовательный временной спектр осцилляций солнечной активности

№	Период (годы)	Амплитуда	№	Период (годы)	Амплитуда
1	11.0	100	12	56.4	27.3
2	10.01	78.8	13	113	26.1
3	10.57	56.0	14	5.47	25.9
4	13.47	42.7	15	21.2	24.5
5	11.87	42.3	16	88.38	20.2
6	309	41.9	17	9.4	18.6
7	8.46	37.8	18	67.33	17.9
8	13.0	36.8	19	33.9	17.7
9	28.9	32.8	20	8.72	16.0
10	12.8	32.3	21	181	15.8
11	8.13	30.1	22	73.6	11.0

В табл. 1 приведен временной спектр солнечных осцилляций, а на рис. 1 этот спектр представлен в графическом виде. Вычисления выполнены по базе данных серии GSN (2003) за период с 1700 г. по 2003 г. Следует отметить, что среднемесячные и среднеквартальные значения относительного числа солнечных пятен, помимо некоторого регулярного, плавного изменения, характеризуются хаотическими, кратковременными флуктуациями, которые дают во временных спектрах большое число линий с периодами от 5 лет до 1 года и менее. Разделить эти линии и как-то интерпретировать не представляется возможным. Поэтому при вычислениях спектров были использованы сглаженные среднегодовые числа солнечной активности. Но и в этом случае в короткопериодической части спектра ( $T < 5$  лет) наблюдается сгущение линий. Сложно определить соответствуют ли эти



**Рис. 1.** График последовательных спектров осцилляций солнечной активности и общего содержания озона (станция С.-Петербург) в логарифмическом масштабе.

линии какому-нибудь физическому процессу, или являются просто гармониками других линий. Учитывая неоднозначность в интерпретации короткопериодической части спектра, осцилляций солнечной активности было решено эту область не рассматривать. Какова истинность полученного временного спектра? Для подобной оценки можно использовать два способа. Первый, для оценки погрешности короткопериодических линий ( $T < 11$  лет) использовался метод сравнения спектров, полученных по двум базам данных: солнечных пятен и радионаблюдениям за одинаковый период регистрации. Второй способ оценки надежности спектра проводился в соответствии с методикой (Иванов, 2002), где было предложено прослеживать зависимость амплитуды спектральной линии от интервала наблюдений. Результаты вычисления по различным интервалам сравниваются, например, за временные интервалы (1700–2003 и 1849–2003 гг.). В случае сохранения амплитуды колебания на выделенном периоде рассматриваются как когерентные.

Как видно из рис. 1, около периода 11 лет имеется группа линий, что естественно, т. к. длительность 11-летних циклов Солнца реально меняется в пределах от 7 до 14 лет. Таким образом, временной спектр выглядит как полоса, расщепляющаяся на ряд отдельных линий. Четко выделяется 22-летний солнечный период. Другая группа линий имеет период около 100 лет, соответствующих солнечному циклу Глайсберга (1944). Интересно, что обнаружены периоды 67.33 и 88.38, совпадающие в пределах погрешности с периодами 66.67 и 88.33, найденными Вольфом в 1889 г. Гармоника с периодом 181 год (погрешность при вычислении порядка  $\pm 3\%$ ), по-видимому, связана с фундаментальным периодом вращения Солнца вокруг центра масс солнечной системы  $T_{178} = 178.77$  лет (Жозе, 1965). Во временном спектре солнечной активности присутствует довольно сильная линия с периодом 309 лет. Трудно утверждать, насколько она реальна, учитывая, что для расчетов была использована база данных продолжительностью 303 года.

#### 4 Анализ спектров геофизических и метеорологических параметров

Анализ спектров различных геофизических параметров предполагает сопоставление их спектральных максимумов и фазовых соотношений со спектрами вариаций солнечной активности. Для исследования было решено выбрать три группы данных, характеризующих условия в различных (по высоте) слоях атмосферы. Это: а) суммарный озон, характеризующий физико-химические условия в стратосфере, б) интегральный коэффициент прозрачности тропосферы, полученный по данным актинометрических измерений в Крыму (Феодосия), в) чисто метеорологический параметр, осредненный для большого региона, — величина полного стока реки Амур.

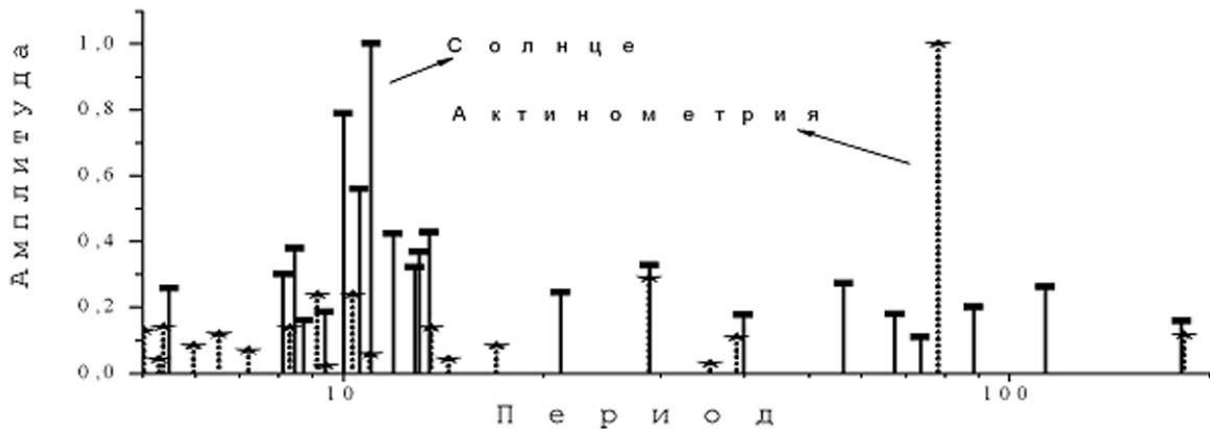


Рис. 2. График последовательных спектров актинометрических измерений для станции Феодосия и осцилляций солнечной активности в логарифмическом масштабе

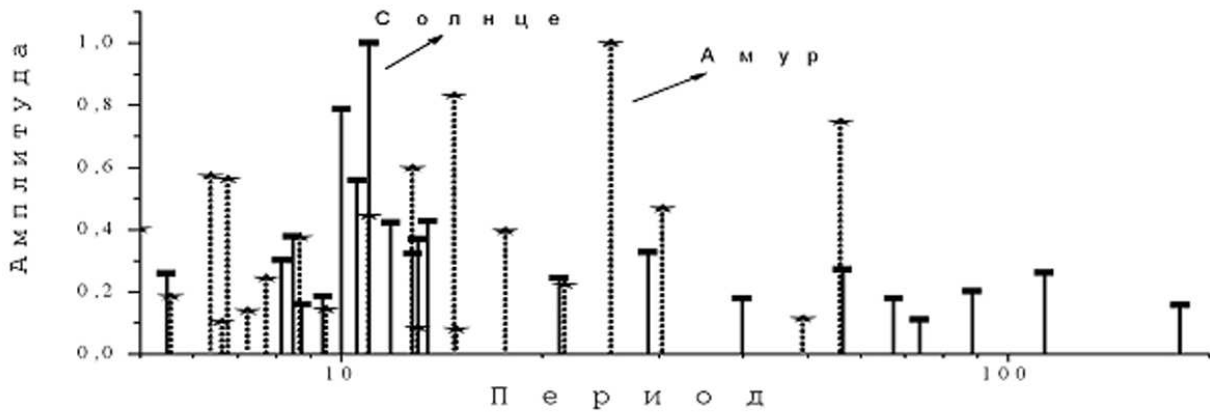


Рис. 3. График последовательных спектров стока реки Амур и осцилляций солнечной активности в логарифмическом масштабе

Совершенно очевидно, что максимальную амплитуду в спектрах всех исследуемых геофизических параметров будут иметь гармоники с периодом 1 год. На их фоне при спектральном анализе вариации другой природы неразличимы. Поэтому при проведении вычисления временных спектров гармоника с периодом 1 год предварительно вычиталась. На рис. 1–3 приведены графические спектры общего содержания озона по данным станции С.-Петербург (наиболее надежная серия измерений) за период с 1958 г. по 2003 г., актинометрии для станции Феодосия за период с 1934 г. по 2003 г. и стока реки Амур за период с 1900 г. по 2003 г. в сравнении со спектрами вариаций солнечной активности. Как видно из рис. 1–3, спектры общего содержания озона, актинометрии (Феодосия) и стока реки Амур соответствуют спектру солнечной активности. В то же время следует отметить, что в некоторых спектрах геофизических параметров отсутствуют некоторые линии с периодами 28.9, 39.9, 56.4, 67.33, 73.6 и 88,38 лет, соответствующими солнечным и межпланетным циклам. (Точнее, эти линии имеют маленькую амплитуду, а расчет был ограничен только первыми 22 линиями.)

Спектральный анализ позволяет проанализировать фазы гармоник. Так, по данным расчетов, 11-летние гармоники для озонметрических станций Ароза, Лервик и С.-Петербург имеют разные

фазы. Это позволяет сделать вывод, что существуют фазовые сдвиги между кривыми временного изменения суммарного озона для разных точек земного шара. Иными словами, возрастание солнечной активности может не только увеличивать общее содержание озона, но и уменьшать, что было отмечено ранее Терез Э., Терез Г. (1996).

## 5 Выводы

Главный вывод, который можно сделать из проведенного анализа, состоит в том, что осцилляции солнечной активности содержат гармонические когерентные колебания с различными периодами, которые, вероятно, связаны с различными физическими процессами. Эти колебания с совпадающими или близкими периодами обнаруживаются во всех геофизических и метеорологических процессах, что говорит о влиянии солнечной активности на эти процессы. В этом свете становится понятным, что вариации солнечной активности должны влиять и на биосферу Земли, что предполагал А.Л. Чижевский еще в 30-х годах прошлого века. Следует отметить, что новейшие исследования на базе новых экспериментальных данных и с применением математической обработки (Владимирский, Темурьянц, 2000) подтвердили выводы Чижевского. Особенно плодотворной оказалась его идея о возможном влиянии геофизических полей. Вероятно, именно они влияют на изменение фазы гармонических составляющих во временных спектрах геофизических и метеорологических параметров. И, тем не менее, в механизме влияния солнечной активности как на тропосферу Земли, так и на биосферу многое остается неясным. Необходимо продолжать широкие комплексные исследования этих вопросов.

## Литература

- База данных GSN. 2003. <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/ftpsunspotnumber.html#hoyt>
- Бремер (Bremer J.) // *Ann. Geophys.* 1998. V. 16. P. 986.
- Болдвин и др. (Baldwin M.P., Gray L.J., Dunkerton T.J., et al.) // *Reviews of Geophys.* 2001. V. 39. № 2. P. 179.
- Ван Луун, Лабитцке (Van Loon H., Labitzke K.) // *Meteorol. Zeitschr.* № F. 1994. V. 3. P. 259.
- Ван Луун, Лабитцке (Van Loon H., Labitzke K.) // *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 1999. V. 61. P. 53.
- Владимирский Б.М., Темурьянц Н.А. Влияние солнечной активности на биосферу и ноосферу. Гелиобиология от А.Л. Чижевского до наших дней. М.: "МНЭПУ". 2000. 374 с.
- Глайсберг (Gleissberg W.) // *Terr. Magn. Atmos. Electr.* 1944. V. 49. P. 243.
- Жозе (Jose P.D.) // *Astron. J.* 1965. V. 70. P. 193.
- Зерефос и др. (Zerefos C.S., Tourpali K., Wojkov B.P., Balis D.S., Rognerund B., Isaksen I.S.A.) // *J. Geoph. Res.* 1997. V. 102. P. 1561.
- Иванов В.В. // *Успехи физ.наук.* 2002. Т. 172. № 7. С. 777.
- Иванов В.В. // *Метеорология и гидрология.* 2005. № 9. С. 37.
- Кливерд и др. (Cliverd M.A., Ulich T., Jarvis M.J.) // *J. Geoph. Res.* 2004. V. 56. P. 347.
- Лабитцке, Ван Луун (Labitzke K., van Loon H.) // *Tellus.* 1995. V. 47A. P. 275.
- Лабитцке, Ван Луун (Labitzke K., van Loon H.) *The stratosphere.* Berlin / Heidelberg : Springer-Verlag. 1999. 179 p.
- Лабитцке, Ван Луун (Labitzke K., van Loon H.) // *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 2000. V. 62. P. 621.
- Маруйама (Maruyama T.) // *Pap. Meteorol. Geophys.* 1997. V.48. P. 1.
- Терез Э.И., Терез Г.А. // *Геомагнетизм и аэрономия.* 1994. Т. 34. № 5. С. 151.
- Терез Э, Терез Г. (Terez E.I, Terez G.A.) *J. Atmos. Terr. Phys.* 1996. V. 58. № 16. P. 1849.
- Усокин, Мурсула (Usoskin I.G., Mursula K.) // *Solar Phys.* 2003. V. 218. P. 319.
- Хойт, Шаттен (Hoyt D.V., Schatten K.) // *Solar Phys.* 1998. V. 179. P. 189.
- Холтон, Тан (Holton J.R., and Tan H.-C.) // *J. Atmos. Sci.* 1980. V. 37. P. 2200.
- Чижевский А.Л. // *Земное эхо солнечных бурь.* М.: "Мысль". 1973. 349 с.