

The background of the cover is a vibrant cosmic scene. A bright, yellowish-white star is positioned in the upper right quadrant, surrounded by a complex network of glowing orange and red filaments, likely representing a nebula or interstellar dust. The rest of the background is a deep black space filled with numerous small, distant stars. On the left side, a large, dark, curved portion of a celestial body, possibly a planet or moon, is visible, adding a sense of scale and depth to the composition.

КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ И ГЕЛИОКЛИМАТОЛОГИЯ

**Серия «Космические лучи»
Том 28**

**МОСКВА
МАОК 2012**

О 30-ЛЕТНЕМ ЦИКЛЕ В КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ

Хорхе Перес Пераса¹, Игорь Либин²

¹Институт Геофизики Национального Автономного Университета Мексики, Мексика

²Международная Академия оценки и консалтинга, Россия

Для исследований поведения интенсивности космических лучей в прошлом используются данные о космогенных изотопах, в частности временные ряды ^{14}C (по данным INTERCAL-98) и ^{10}Be (данные, полученные на Северном и Южном полюсах). Анализ этих данных позволил обнаружить существование вариаций космических лучей с периодом около 30 лет. Результаты были получены с применением вейвлет-преобразования (Wavelet Transformation Spectral Technique). Наличие аналогичных вариаций некоторых климатических индексов может свидетельствовать о том, что 30 летние колебания в космических лучах, вероятно, являются модулятором земных явлений.

Введение

Одной из основных проблем в определении значительных долгосрочных периодичностей в космических лучах является то, что временные ряды этих данных невелики и доступны только после 50-х годов. Данные по космогенным изотопам бериллия-10 (^{10}Be) и углерода-14 (^{14}C), принято рассматривать в качестве прокси-космических лучей, так что спектральный анализ этих данных может выявить искомые периодичности с высокой точностью [Fligge и др., 1999, Ossendrijver, 2003]. Эти космогенные изотопы образуются в основном от галактических космических лучей, поток которых модулируется изменениями межпланетного и геомагнитного магнитных полей. Следует отметить, что анализ космогенных изотопов, таких как ^{10}Be (в кернах полярного льда) и ^{14}C в кольцах деревьев (хранящихся в архивах) проводить гораздо сложнее, нежели анализ числа солнечных пятен. Это связано с тем, ^{14}C и ^{10}Be отражают не только воздействие солнечной

активности, но и процессы атмосферного переноса и осаждения [Beer et al., 1990].

Вейвлет-анализ палеоклиматических данных, отражающих крупномасштабные атмосферные явления (АМО - Атлантической Многолетней Осцилляции и SAO - Южной Осцилляции) и ураганов показал высокую согласованность между этими климатическими колебаниями и космическими лучами (вычисленными по данным космогенных изотопов ^{10}Be) с периодами порядка 30 ± 2 года. На рис. 1 приведен пример такой высокой согласованности ураганов категории 4 и данных ^{10}Be (керны с Северного полюса), с достоверностью выше 95% [Perez-Peraza et al., 2008a,b]. Кроме того, обнаруженный 30-летний цикл демонстрируют и некоторые локальные свойства ураганов (например, общий объем всей циклонической энергии, тропических бурь у Атлантического побережья Мексики, рис. 2) [Perez-Peraza et al., 2008c; Perez-Peraza and Libin, 2012].

Нужно сказать, что впервые, 30-летние вариации в данных штормистости были обнаружены (методом «Гусеница») в работе [Libin and Perez Peraza, 2009]. Авторами были выделены следующие периодичности: 90 - 100 лет, 28 - 32 года, 20 - 22 года, 9 - 13 лет и некоторые другие. И хотя точность определения периодов этим методом

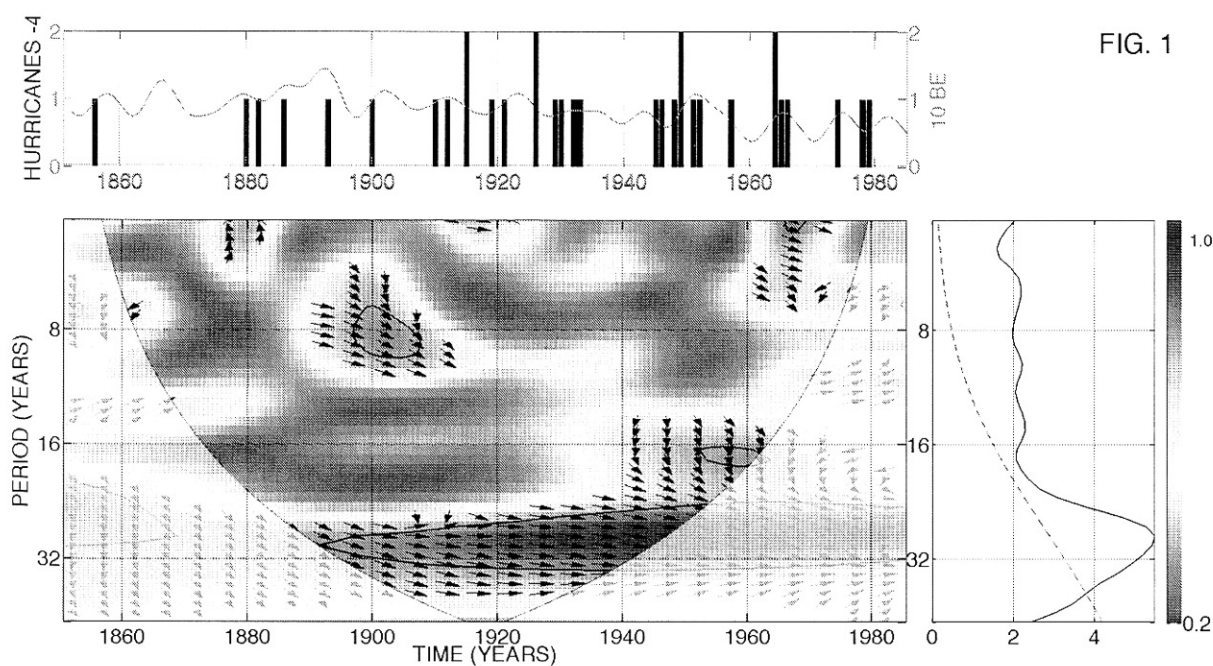


FIG. 1

Рис. 1. Вейвлет-анализ ураганов категории 4 и данных ^{10}Be

TC LANDING INTO MEXICO 1960-2005

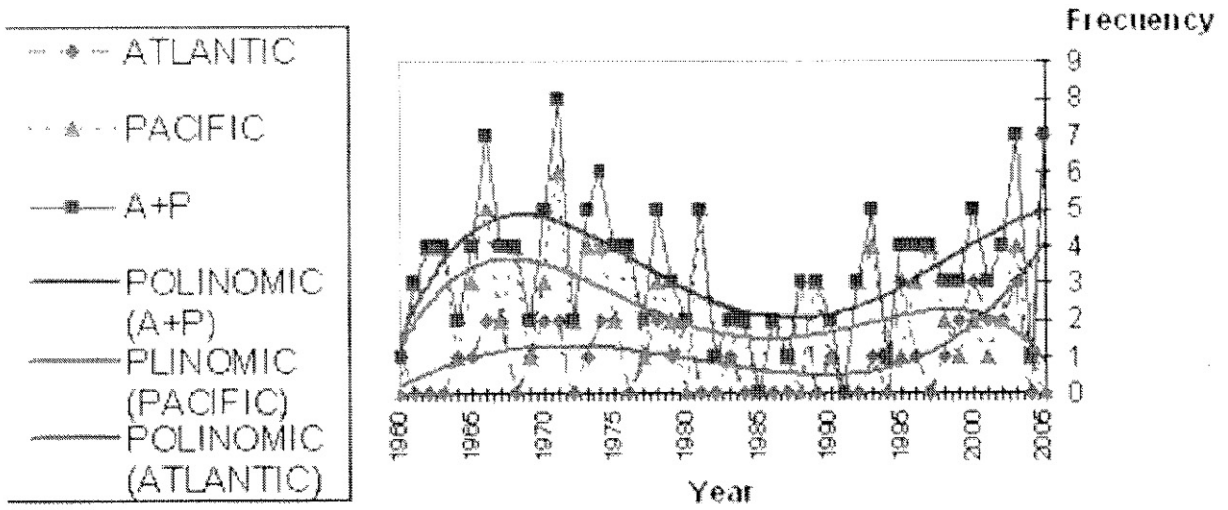


Рис. 2. Поведение общего объема всей циклонической энергии тропических бурь у Атлантического побережья Мексики

невелика, можно все же утверждать, что основные периодичности, полученные методом «Гусеница» реальны. В работе [Кляшторин и Любушин, 2005] были обнаружены 30-летние вариации температуры. Близкие результаты в разные годы были получены многочисленными исследователями для измерений магнитного поля Земли [Pushkov and Chernova, 1972; Papitashvili et al., 1980; Papitashvili et al., 1982; Golovkov et al., 2010].

Данные для анализа

Данные о ^{10}Be и ^{14}C могут быть получены для интервалов в несколько тысячелетий: мы использовали INTERCAL 98 (<http://depts.washington.edu/qil/>) для ^{14}C и ^{10}Be [Beer et al., 1990]. По Южному полюсу мы пользовались данными из работы [Bard et al., 2000].

Для того, чтобы проследить эволюцию основных частот изучаемых временных рядов, применялся метод Морле-вейвлет [Hudgins et al., 1993, Torrence and Compo, 1998; Grinsted et al., 2004], который может быть использован для анализа изменения мощности в течение определенного времени на разных частотах. Для контроля истинности получаемых результатов применялся алгоритм Добеши [Daubechies, 1992], весьма эффективный при разложении сигналов

на низких и высоких частотах и не создающий ложных периодичностей.

Результаты

На рисунках 3-7 представлены результаты вейвлет-анализа исследуемых временных рядов: собственно временные ряды показаны на верхней панели. Вейвлет-спектр Морле для каждой серии отражается в середине панели, а общий спектр Wavelet появляется в правой части рисунка, где пунктирная линия показывает границу 95% доверительного интервала. В частности, на рис. 3 приведен вейвлет-спектр ^{10}Be (на Южном полюсе): из рисунка видно, что 30-летняя периодичность хотя и превышает 95% доверительный интервал, но выглядит незначительной по сравнению с 60, 120 и 240 летними периодичностями.

Естественно, возникает вопрос, как определить истинность такой периодичности на фоне более мощных колебаний? Это оказывается очень сложной задачей, так как, необходимо корректно отфильтровать как периодичности больше 30 лет, так и находящиеся в высокочастотной области спектра. В этой ситуации алгоритм Добеши оказывается очень мощным инструментом, как это показано

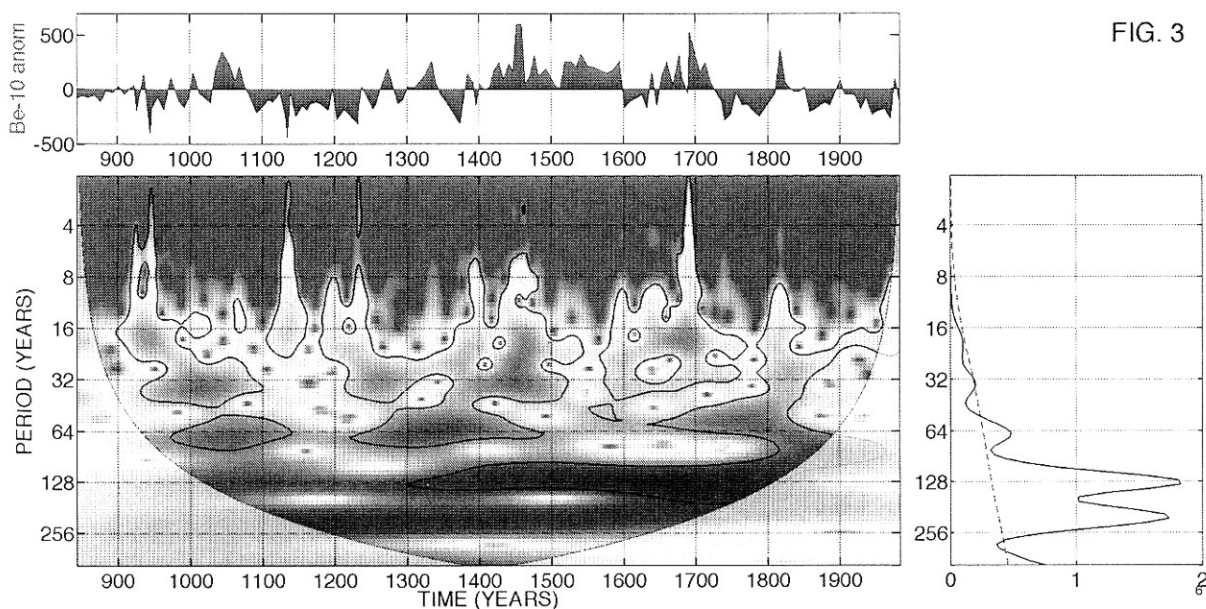


Рис. 3. Вейвлет-спектр ^{10}Be (по данным кернов на Южном полюсе)

на рис. 4 и 5, где после процесса фильтрации ясно видно, что 30 летняя периодичность ^{10}Be (на Северном полюсе) и ^{14}C лежит гораздо выше 95% доверительного интервала.

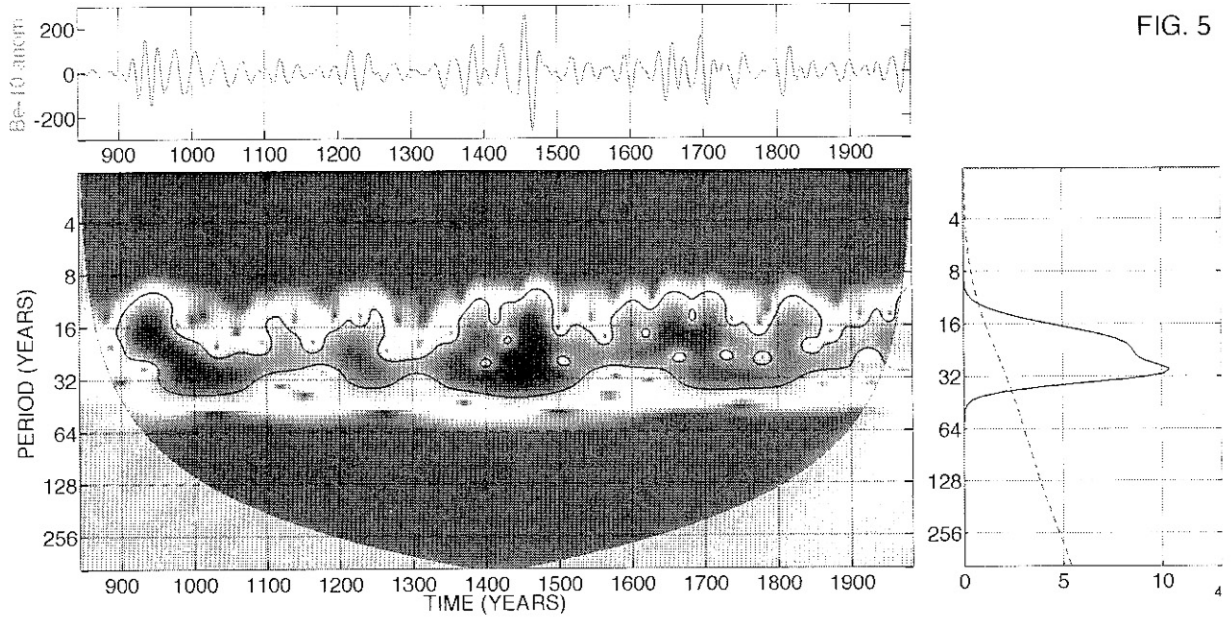


FIG. 5

Рис. 4. Вейвлет-спектр ^{10}Be (на Северном полюсе, после фильтрации)

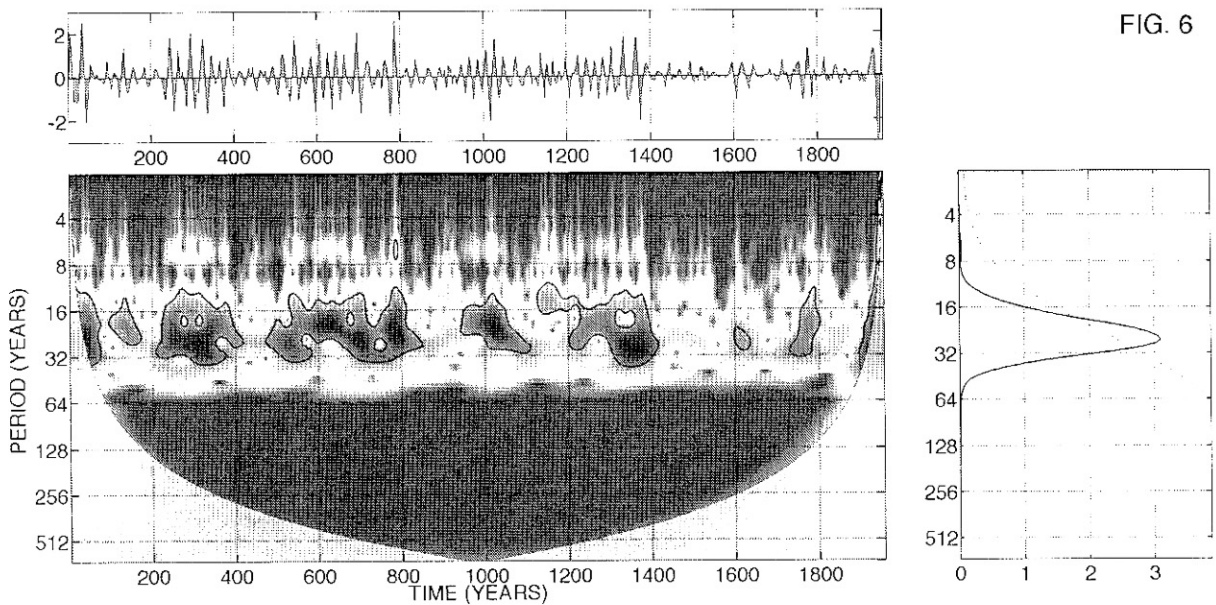


FIG. 6

Рис. 5. Вейвлет-спектр ^{14}C (на Северном полюсе, после фильтрации)

Заключение

Крайне важным, при проведении наших исследований, был вопрос: отражают ли обнаруженные 30 летние периодичности ^{10}Be на самом деле колебания космических лучей или это какое-то локальное явление в космогенных изотопах? Сравнение поведения ^{10}Be (на Северном и Южном полюсах) показал, что, так как концентрация изотопов сильно отличаются от одного полюса к другому, то следует ожидать, что их поведение будет также весьма различным, если имеет место локальный характер возникновения и поведения периодичностей. Тем не менее, Wavelet анализ поведения ^{10}Be на обоих полюсах (рис.7) показывает высокую степень их согласованности ($>0,9$).

Этот результат дает нам возможность утверждать, что 30 летняя периодичность космических лучей, вероятно, является модулятором земных процессов. Похоже, что космические лучи могут действительно модулировать климатические явления, такие как АМО и поведение температуры поверхности моря (Sea-Surface temperature - SST), а последние, в свою очередь, модулируют развитие ураганов [Перес-Пераса и др., 2008b,c].

Кроме того, Wavelet Analysis палеоклиматических данных (АМО и SAO) выявил согласованность между климатическими колебаниями и космическими лучами с периодом 30 лет [Velasco and Mendoza, 2008]. Поскольку выявленная периодичность присутствует во всех исследуемых интервалах, ее происхождение может быть связано с 120-летним (вековым) циклом солнечной активности [Velasco et al, 2008] (рис.7). Для подтверждения такого предположения мы провели анализ согласованности солнечной активности (<http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/ftpsunspotnumber.html#american>) и выявили существование такой периодичности 30 лет в солнечной активности за период с 1750 по 2011 годы (рис.8).

Для проверки полученных результатов авторами были проведены расчеты взаимных спектров мощности и спектров когерентности для солнечной активности и температуры (Рис.10), солнечной активности и штормистости (Рис.9), солнечной активности и уровня озера Байкал (Рис.11) и, наконец, солнечной активности и интен-

сивности космических лучей по данным нейтронных мониторов и измерений ^{10}Be (Рис.12) для различных периодов измерений (надписи на рисунках).

Расчеты спектров выполнены с помощью авторегрессионного спектрального анализа ARMA с одновременной фильтрацией исходных данных с подавлением 11-летних и 22-летних вариаций и долгопериодных (свыше 100 лет) вариаций. Из всех приведенных рисунков видно наличие устойчивых 30-летних колебаний практически во всех процессах. И хотя коэффициенты когерентности исследуемых пар не всегда превосходят 95-процентный доверительный интервал, вероятность наблюдаемых пиков практически всегда выше 90%.

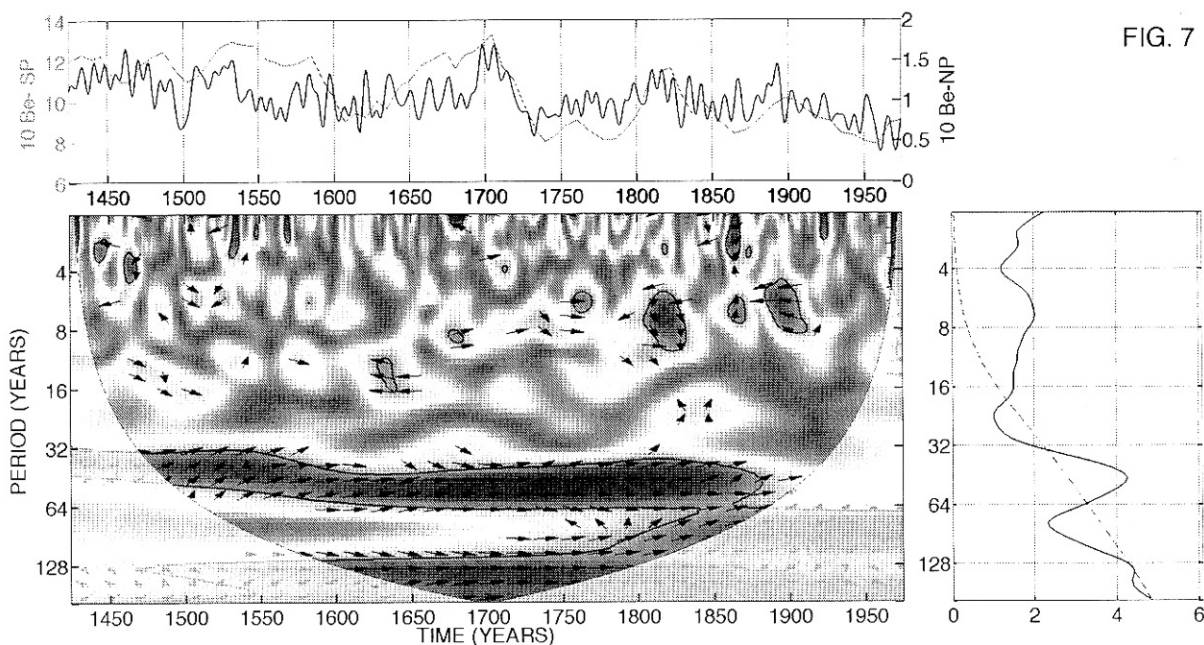


FIG. 7

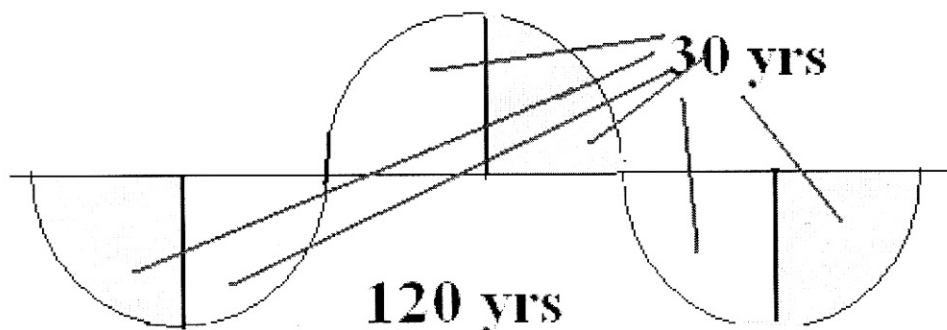
Рис. 6. Вейвлет-спектр ^{10}Be (на Северном полюсе)

Рис. 7. 120-летняя периодичность по данным на обоих полюсах

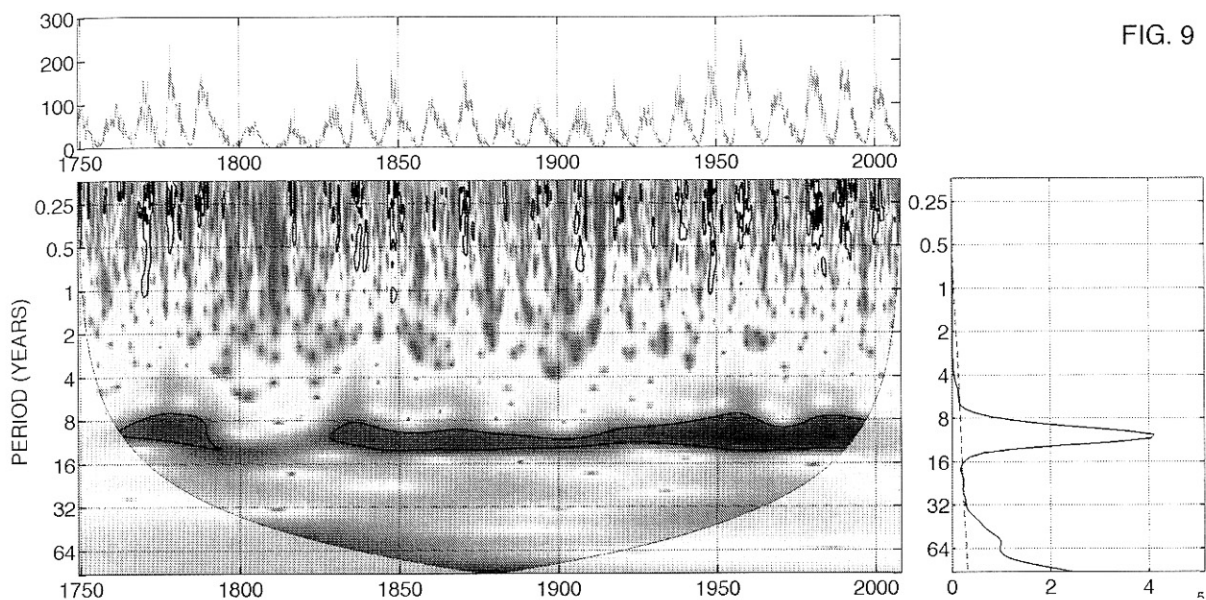


FIG. 9

Рис. 8. 30-летняя периодичность в солнечной активности за период с 1750 по 2011 год

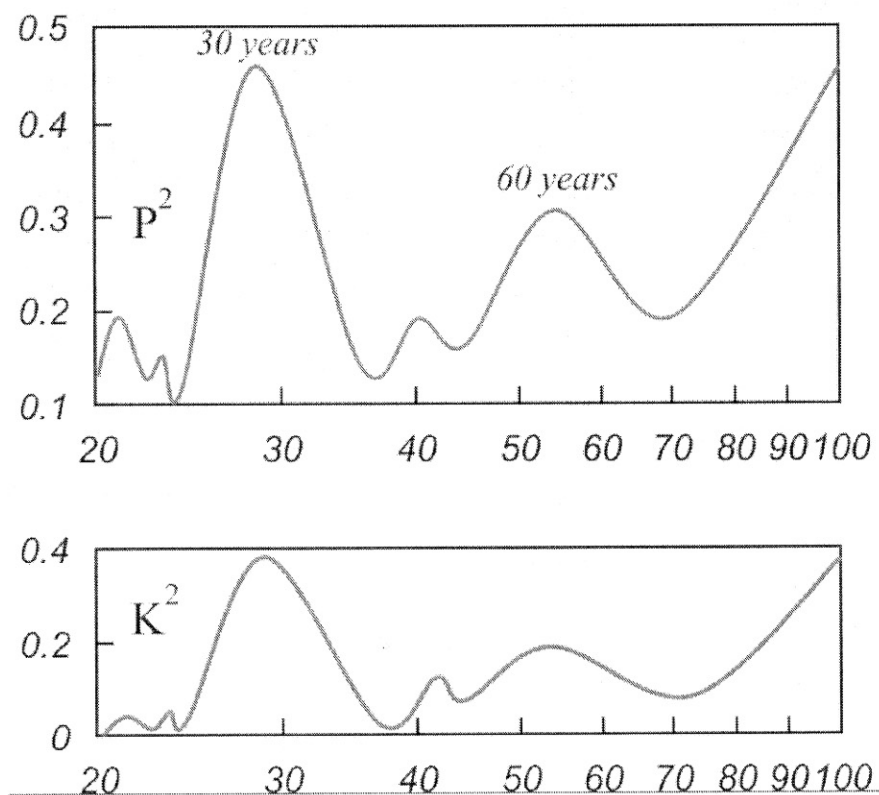


Рис. 9. Спектр мощности солнечной активности (СА) и штормистости (S) CAO (1946-2010). K^2 – когерентность пары СА-S

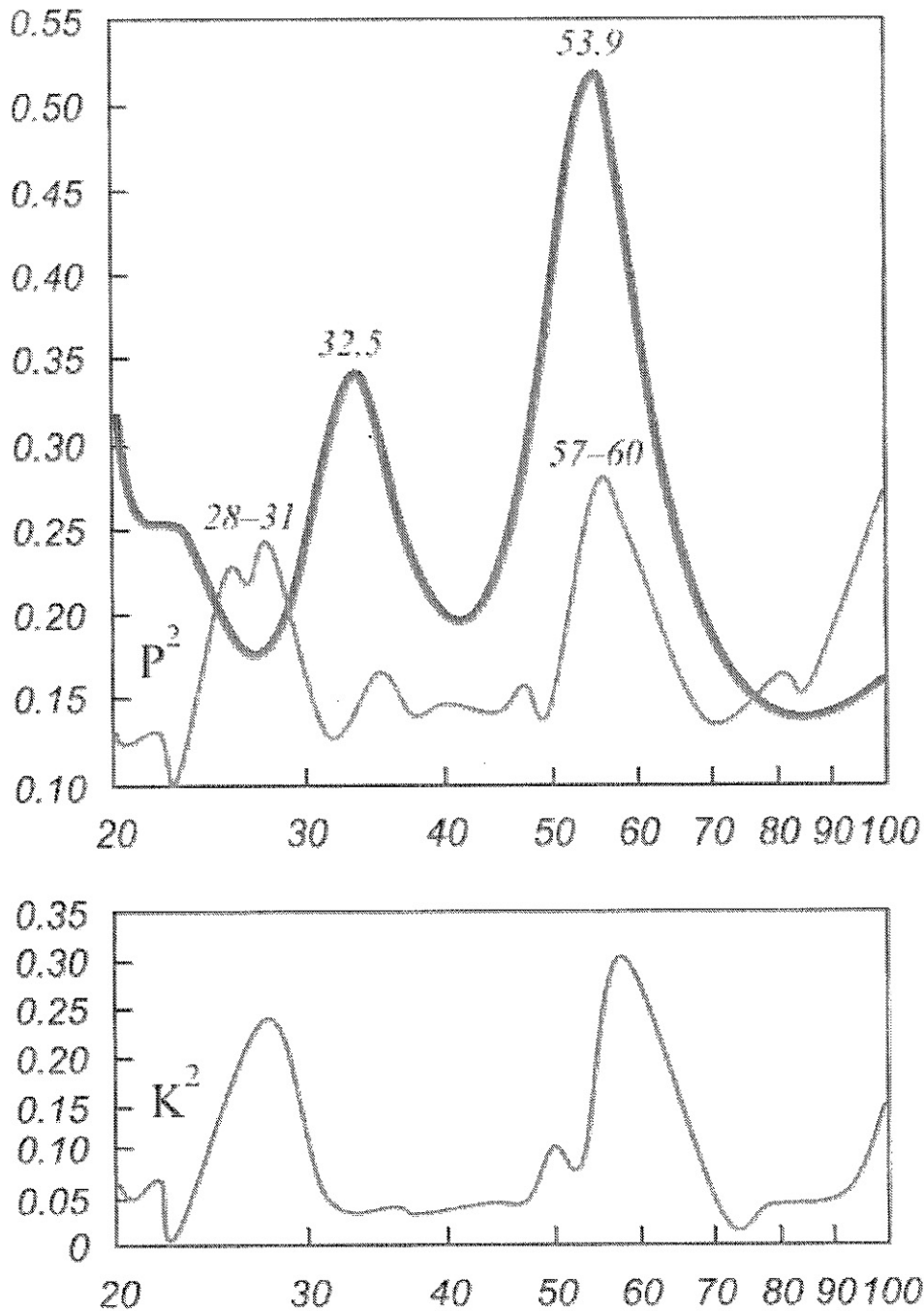


Рис. 10. Спектр мощности солнечной активности (СА) и температуры (Т) Северного Полушария (1902-2010, тонкая кривая, верхний рисунок) и солнечной активности и толщины льда в Северном Полушарии (1902-2010, жирная кривая, верхний рисунок). K^2 – когерентность пары СА-Т.

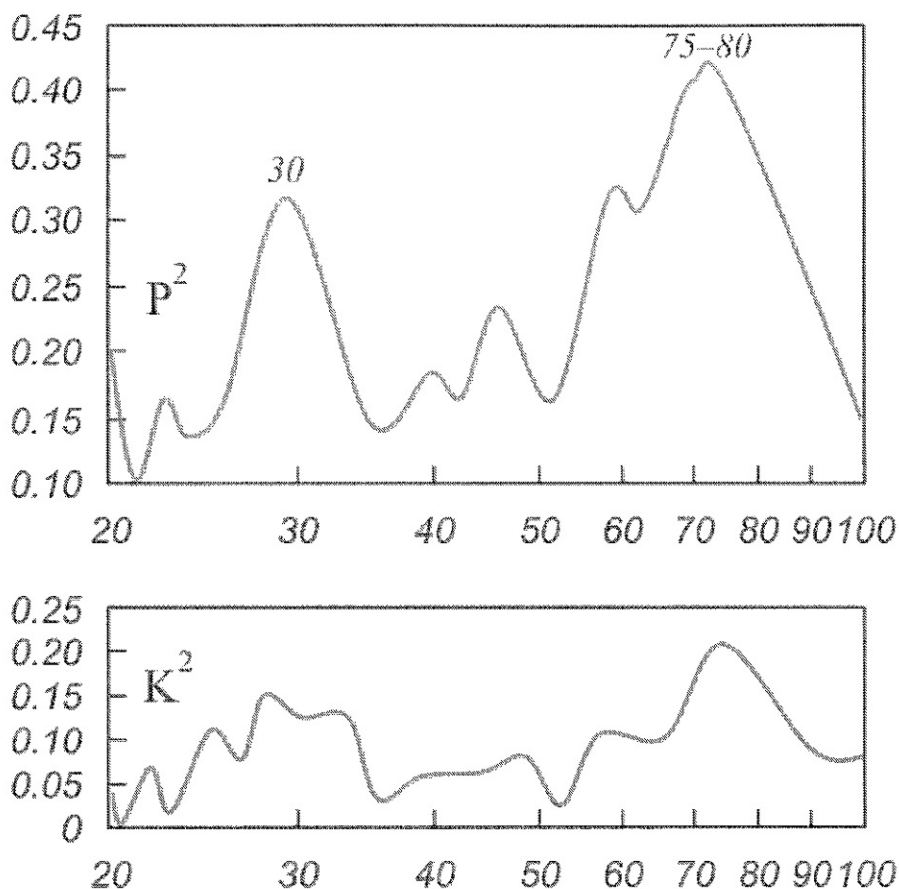


Рис. 11. Спектр мощности солнечной активности (СА) и уровня озера Байкал (P) (1926-2010). K^2 – когерентность пары СА-P

Таким образом, полученные результаты еще раз подтверждают роль солнечной активности, как космофизического модулятора всех солнечно-земных связей на различных частотах. Одна из этих частот, соответствующая 30 годам, найденная в работе, позволяет нам провести анализ разумной долгосрочной изменчивости космических лучей.

Авторы благодарят доктора Виктора Мануэля Веласко-Эррера (Victor Manuel Velasco-Herrera) за помощь при проведении Wavelet анализа.

Один из авторов (Хорхе Перес Пераса) выражает признательность программе PAPPIT Национального Автономного Университета Мексики за финансовую помощь в исследованиях по проекту IN119209.

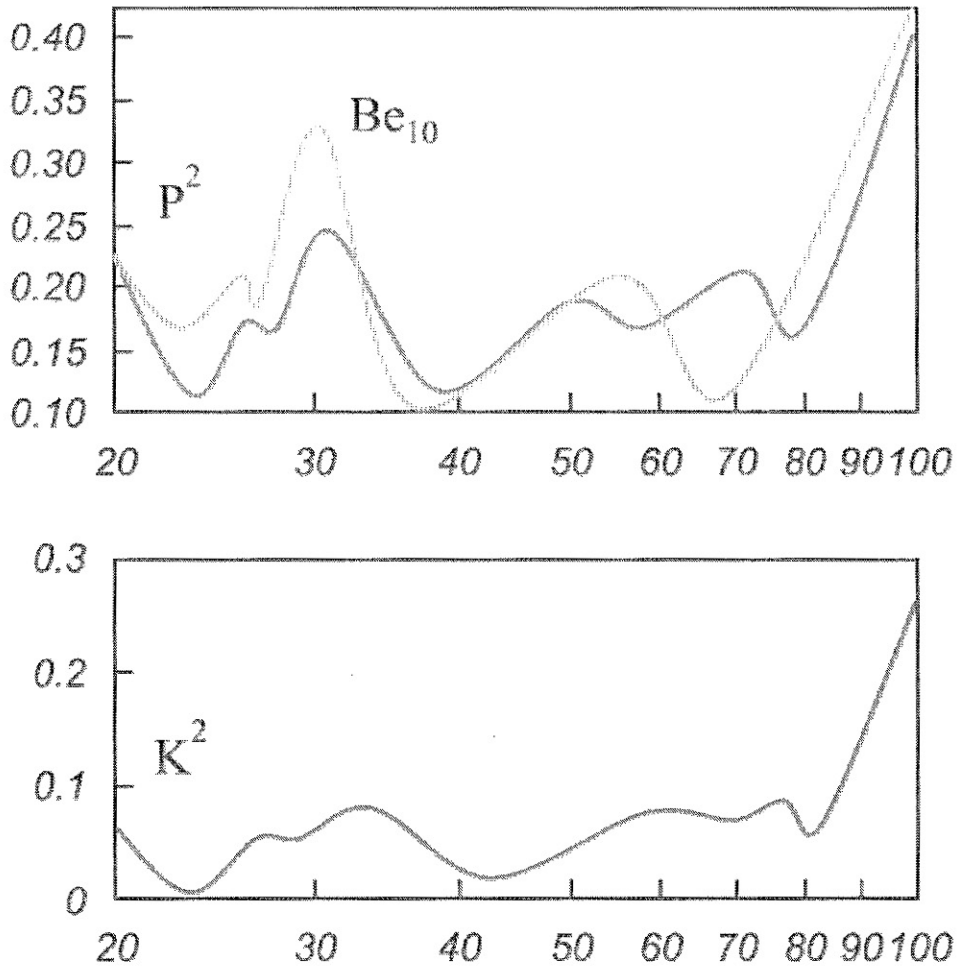


Рис. 12. Спектр мощности солнечной активности (СА) и интенсивности космических лучей (1950-2010, p^2) и солнечной активности (СА) и ^{10}Be (1482-2010). K^2 – когерентность пары СА- P^2

Литература

Bard, E., Raisbeck, G., Yiou, F. and Jouzel, J., *Tellus B*, 52 (3), 985-992, 2000.

Beer J. et al.: *Nature*, 347, 164 – 166, 1990.

Daubechies, I., *Ten Lectures on Wavelet*, Society for Industrial and Applied Mathematics, Ed. by Rutgers University and AT&T Bell Laboratories, 1992.

Golovkov V.P., S.V. Yakovleva, T.I. Zvereva Selection for fast secular variations SATELLITE magnetic surveys. *Geomagnetism and Aeronomy*, V.50, № 2, March-April 2010, pp. 284-287

Gorshkov, V.L. Communication Earth pole low-frequency oscillations

with the North Atlantic oscillation (NAO). 8th Congress of the International Symposium «Astronomy -2005: Status and Prospects», Moscow, MSU-GAISH, 1-6 June 2005

Fligge M., Solanki S.K. and Beer J.: *Astron. Astrophys.* 346, 313– 321, 1999.

Hudgins, L., Friehe, C. A., Mayer, M. E., *Phys. Rev. Lett.* 71, 3279–3282, 1993.

Grinsted, Moore and Jevrejera, *Nonlinear Process Geophysics*, 11:561–566, 2004

Klyashtorin L.B., Lyubushin A.A. *Cyclic Climate Changes and fish productivity*. M.: VNIRO Publishing, 2005. 258 p.

Libin I., Perez Peraza J. *Heliclimatology*. M.: MAOK, 2009.

Ossendrijver M.: *The Astron Astrophys Rew.* 11, 287 – 367, 2003.

Papitashvili N.V., N.M. Rotanova, V.M. Fishman Evaluation of conductivity of the lower mantle of the study 60 - and 30-year variations of the geomagnetic field. *Geomagnetism and Aeronomy*, 1982, vol 22, № 4, p. I010-I015

Papitashvili NE, N.M. Rotanova, Pushkov A.N. 60-year variation of the geomagnetic field in Europe. *Geomagnetism and Aeronomy*, 1980, v. 20, p. 711-717

Pérez-Peraza, J., Velasco, V. and S. Kavlakov, *Geof. Inter.* 47(3), 231-244, 2008a. Pérez-Peraza, J., Velasco, V. and S. Kavlakov et al., *Proc. 30th ICRC*, 1, 785-788, 2008b

Pérez-peraza, J., Velasco, V, S. Kavlakov, *Adv. Space Research Vol* 42, 2008c (on line).

Pushkov A.N., T.A. Chernova. Features of spatial and temporal structure of the secular variation of the geomagnetic field. Preprint № 18. Moscow: IZMIRAN, 1972, 32 p

Torrence, C. and Compo G., *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 79, 61, 1998.

Velasco, V. and Mendoza, V., *Adv. Space Research Vol.* 42-5, 866-878, 2008.

Velasco, V., Valdés-Galicia, J.F. and Mendoza, B. *Proc. 30th Int. cosmic Ray Conf.* 1, 553-556, 2008.