

О НАБЛЮДАЕМОСТИ СВОБОДНОЙ НУТАЦИИ ВНУТРЕННЕГО ЯДРА ЕМЛИ

Малкин З.М.^{1,2}

¹Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия

²Астрономический институт им. В.В.Соболева СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

Свободная нутация внутреннего ядра Земли (FICN, Free Inner Core Nutation) является одной из четырех собственных свободных мод вращения Земли, рассматриваемых современной теорией. Согласно классической работе [5] расчетный период FICN находится в пределах 930-1140 суток. Выявление этого нутационного колебания из наблюдений является важной научной задачей, решение которой позволит существенно уточнить модель строения и вращения Земли. Ввиду ожидаемой малости FICN его обнаружение может быть успешным только из обработки наиболее точных современных наблюдений методом радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами. В последние годы было предпринято несколько безуспешных попыток обнаружить FICN из наблюдений. В представляемой работе описаны результаты дальнейших усилий в этом направлении, тоже пока не приведшие к успеху. В частности, показано, что в широком диапазоне периодов наблюдается несколько нутационных колебаний близкой мощности. К сожалению, предсказания теории не настолько точны, чтобы однозначно связать один из найденных сигналов с FICN. Представляется, что на настоящем этапе наиболее важным является уточнение теории, которая могла бы быть использована для более успешного сравнения с наблюдениями.

Введение

Современная теория вращения Земли рассматривает четыре свободных моды вращения [5]. Две из них относятся к движению оси вращения в теле Земли (в земной системе координат): чандлеровское движение полюса и аналогичный эффект во внутреннем ядре, а две – к движению оси вращения в пространстве (в небесной системе координат): свободная нутация внешнего жидкого ядра (FCN, Free Core Nutation) и свободная нутация внутреннего твердого ядра (FICN, Free Inner Core Nutation). Если чандлеровское движение полюса и свободная нутация внешнего ядра уверенно выделяются из наблюдений и активно изучаются, две другие составляющие пока наблюдать не удалось. В то же время, обнаружение из наблюдений и определение параметров этих составляющих вращения Земли является важной научной задачей, решение которой позволит существенно уточнить модель строения Земли и ее вращения.

Согласно классической (и фактически единственной) работе [5] расчетный период FICN составляет 930-1140 суток. Ввиду ожидаемой малости сигнала FICN его обнаружение наиболее вероятно из определяемых методом радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ) поправок к теории нутации (СПО, Celestial Pole Offset) в виде поправок к координатам небесного полюса dX и dY . В последние годы было предпринято несколько безуспешных попыток выделить сигнал FICN из этих данных, см., например, [4] и цитируемые там работы.

Заслуживают отдельного упоминания две работы. В [3] был обнаружен сигнал в ожидаемой полосе частот, соответствующей FICN, с амплитудой около 30 мксд (мкс дуги) и периодом 850–1200 суток, причем и амплитуда и период зависят от используемого каталога положений наблюдаемых радиоисточников. В результате авторы пришли к выводу, что найденный сигнал является артефактом, являющимся следствием нестабильности положений некоторых радиоисточников. Этот вывод подтверждается неустойчивостью найденного сигнала во времени. В работе [2] проведен анализ возможного возбуждения FICN атмосферой и океаном. Авторы показали, что атмосфера и океан

могут возбуждать FICN лишь на уровне долей мксд, чего явно недостаточно для объяснения колебания, обнаруженного в [3].

С другой стороны, возможны и другие, еще не исследованные источники возбуждения FICN. В любом случае, на современном уровне точности наблюдений можно уверенно выделить сигнал FICN из наблюдений (рядов СРО), если он имеет амплитуду не менее 20-30 мксд.

В настоящей работе нами был проведен спектральный и вейвлет-анализ рядов СРО, полученных по последним наблюдательным РСДБ-данным, для выявления возможного колебания на частоте FICN.

Наблюдательные данные

Мы использовали ряды СРО, полученные в центрах анализа РСДБ-наблюдений Международной службы РСДБ для геодезии и астрометрии (IVS, International VLBI Service for geodesy and astrometry). Были рассмотрены как сводный ряд СРО IVS, так и ряды СРО отдельных центров анализа: AUS (Австралия), ВКГ (Германия), CGS (Италия), GSF (США), IAA (Россия), OPA (Франция), USN (США). Все ряды взяты из центра данных IVS <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/vlbi/ivsproducts/eops/>.

На первом этапе для всех рядов был проведен спектральный анализ методом вычисления периодограммы Шустера для комплексных данных вида $dX+i*dY$. Предварительно из рядов были удалены линейный тренд и FCN по модели ZM1 [1]. Интервал исследуемых периодов был взят 500–2000 суток, т.е. с некоторым запасом включающий в себя предполагаемый в соответствии [5] интервал периодов FICN 930–1140 суток.

Результаты вычислений, приведенные к виду амплитудного спектра, показаны на рис. 1. Из полученных спектров видно, что в искомой области частот наблюдается шумоподобный сигнал, в котором нет какого-либо превалирующего колебания, которое может быть выделено как наиболее вероятный кандидат в сигнал FICN. Скорее спектр указывает на характер сигнала, близкий к шумовому. Видно также, что данные разных центров анализа не очень хорошо совпадают между собой.

Далее сводный ряд СРО, который мы считаем наиболее точным из всех используемых в настоящей работе, был подвергнут вейвлет-анализу, результаты которого приведены на рис. 2. На верхней части рисунка приведена скалограмма полного (исходного) ряда СРО. На ней, фактически, выделяется только сигнал на частоте FCN с периодом около 430 суток. После его удаления (нижняя скалограмма) видна сложная структура остаточного ряда, содержащая несколько колебаний в области предсказываемого теорией периода FICN.

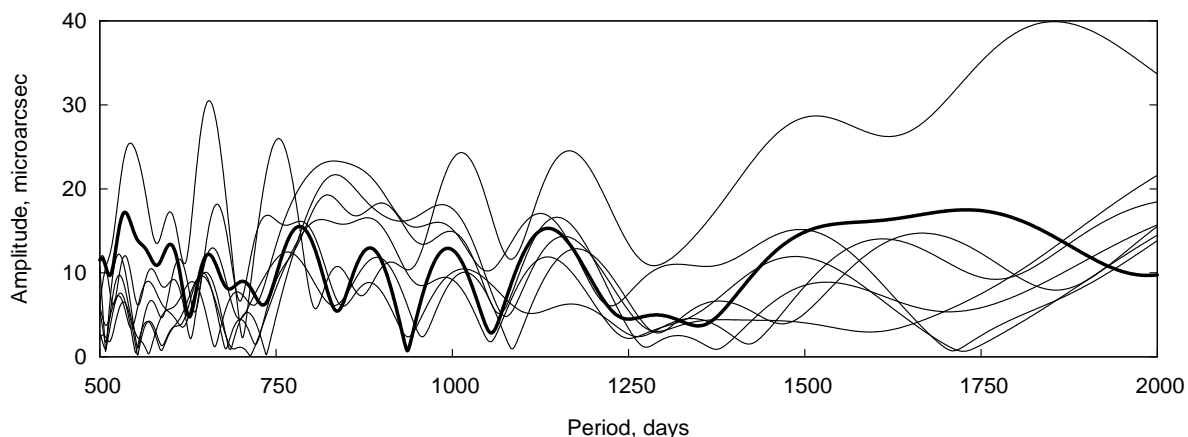


Рис. 1. Периодограмма рядов СРО IVS (жирная линия) и отдельных центров анализа РСДБ-данных (тонкие линии).

Из колебаний с максимальной амплитудой порядка 20 мксд выделяется одно с периодом около 900 суток, что наиболее близко к предсказанному в [5]. Оно также имеет довольно устойчивый характер, т.е. малые изменения амплитуды, на всем интервале дат. Это колебание и является основным кандидатом для более детального изучения. Однако оно, как и несколько других колебаний, выделяемых в нашем анализе, могут быть также обусловлены неточностью коэффициентов модели нутации МАС для членов с периодами, близкими к FICN. В исследуемом интервале периодов имеются члены с периодами около 1305 суток (средняя амплитуда 3500 мксд), 1095 суток (1000 мксд), 943 суток (50 мксд), 727 суток (35 мксд), которые должны быть исследованы с точки зрения их разделения с возможным сигналом FICN.

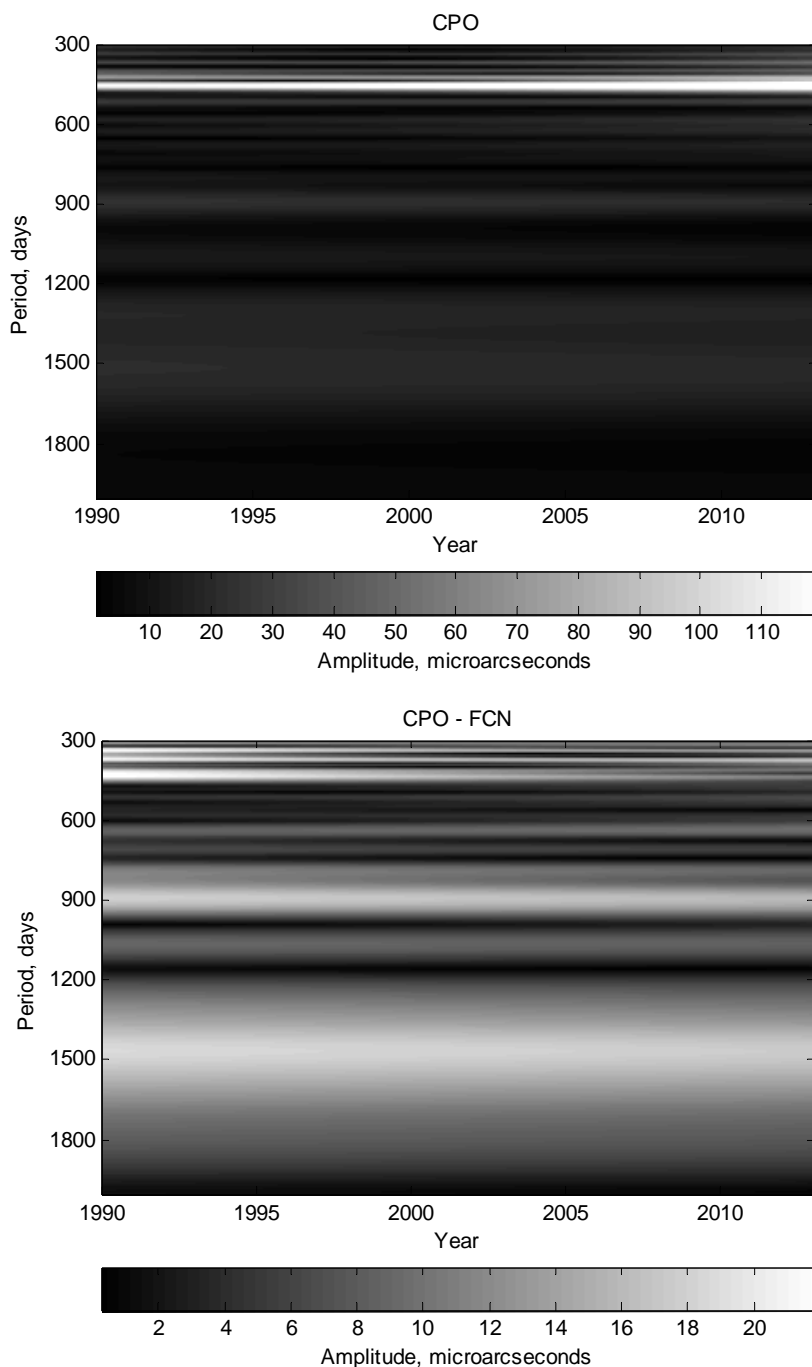


Рис. 2. Вейвлет-спектры ряда CPO IVS. На верхнем рисунке исходный ряд, на нижнем – остаточный ряд после исключения FCN.

Заключение

В работе исследованы несколько рядов СРО с целью обнаружения колебания, соответствующего FICN. Полученные результаты свидетельствуют, что в рядах углов нутации, определяемых из РСДБ-наблюдений, в изучаемом диапазоне периодов наблюдается несколько колебаний схожей амплитуды без уверенно выделяемого преобладающего компонента. К сожалению, предсказания теории не настолько точны, чтобы однозначно связать один из найденных сигналов с FICN. Ситуация осложняется тем, что результаты зависят от используемого для анализа ряда СРО. Также важной задачей для будущих исследований является разделение наблюдаемых колебаний на происходящие от FICN и обусловленные неточностью коэффициентов модели нутации MACH2000A для членов с периодами, лежащими в полосе частот FICN.

Представляется, что на настоящем этапе наиболее важным является уточнение теории, которая могла бы быть использована для более успешного сравнения с наблюдениями. Наиболее актуальной задачей является получение более точной теоретической оценки периода FICN с учетом новых геофизических данных, накопленных за время, прошедшее со времени публикации работы [5].

Литература

1. *Малкин З.М.* Эмпирические модели свободной нутации земного ядра. *Астрон. вестник*, 2007, т. 41, 531–536.
2. *Dehant V., O. de Viron O., and Greff-Lefftz M.* Atmospheric and oceanic excitation of the rotation of a three-layer Earth. *Astron. Astrophys.*, 2005, v. 438, 1149–1161.
3. *Feissel-Vernier M., Ma C., Gontier A.-M., Barache C.* Sidereal orientation of the Earth and stability of the VLBI celestial reference frame. *Astron. Astrophys.*, 2005, v. 438, 1141–1148.
4. *Lambert S., Rosat S., Cui X., Rogister Y., Bizouard C.* A Search for the Free Inner Core Nutation in VLBI Data. *IVS 2012 General Meeting Proc.*, в печати.
5. *Mathews, P.M., Herring T.A., Buffett B.* Modelling of nutation and precession: New nutation series for nonrigid Earth and insights into the Earth's interior. *J. Geophys. Res.*, 2002, v. 107, 2068.

ON THE OBSERVABILITY OF THE FREE INNER CORE NUTATION

Malkin Z.M.^{1,2}

¹*Central Astronomical Observatory at Pulkovo of RAS, St. Petersburg, Russia*

²*Sobolev Astronomical Institute, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

Free Inner Core Nutation (FICN,) is one of the four free rotational modes of the Earth considered in the theory of the Earth's rotation. According to the classical paper [5] the FICN period is in the interval 930-1140 days. Detecting of this signal in the observational data is a very important scientific task allowing us to substantially improve our knowledge about the Earth's interior and rotation. Due to small expected amplitude of the FICN oscillation its detection can be successful only from the most accurate nutation series obtained from the very long baseline observations (VLBI) observations. Several attempts made during last years to find the FICN component in these series failed. In this paper, we present some results of our further steps in this direction, unfortunately not successful either. We investigated several VLBI nutation series by means of spectral and wavelet analysis. It has been shown that there are several periodic signals with close amplitude around the expected FICN period without a prevailing one, which can be associated with the FICN. So, it seems to be necessary to improve the theoretical estimates of the FICN period to make its search in the observational series more promising.