

# ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ ПОЛЮСА И ДОЛГОПЕРИОДИЧЕСКИЕ ВАРИАЦИИ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ

В. Л. Горшков, М.В. Воротков

*Проведён численный эксперимент для оценки возможности возбуждения свободной нутации Земли сезонными вариациями движения полюса. В качестве параметра модели использовалось гипотетическое нелинейное трение между слоями Земли, проявляющееся на частотах близких к году и регулирующее сцепление слоёв в зависимости от соотношения векторов сезонного и свободного колебания полюса.*

*На основе данных IERS о параметрах ориентации Земли в рамках предложенной модели исследовалась связь обнаруженных долгопериодических квазигармонических вариаций в скорости вращения Земли (LOD) и динамики движения полюса.*

## Введение

Возросшие точности и плотности рядов мониторинга вектора вращения Земли привели к бурным исследованиям в области внутри и около суточных его вариаций. Однако в области низкочастотных вариаций движения полюса и неравномерности вращения Земли так и остались нерешенные вопросы: каков механизм возбуждения свободной нутации Земли (чандлеровской составляющей в движении полюса – ЧДП), какова его зависимость от различных геофизических факторов и, наконец, как «дотянуть» теоретический период свободной нутации упруго-деформируемой Земли (404 суток) до наблюдаемого (435 суток). Предлагается широкий спектр возможных механизмов возбуждения ЧДП вплоть до отрицания его природы как свободных колебаний (Авсюк, 1996):

- возбуждение океаническими течениями (Сидоренков, 1997 – от Эль-Ниньо, Chao, Zhou, 1999 – от Северо-Атлантического течения),
- атмосферное возбуждение с учетом вклада ветра (Brzezinski, Petrov, 1995; Furuya at al., 1996),
- возбуждение ЧДП от совместного влияния океанических течений и атмосферных нагрузок (Celaya at al., 1999).

В работах (Курбасова и др., 2001, 2002) объяснение удлинения периода свободной нутации (ЧДП) и изменения его амплитуды ищется в рамках взаимного влияния колебаний внутри системы Земля-Луна. В этом случае появляется отличие собственных частот тел от их собственных частот в системе связанных осцилляторов, где в случае Земли появляется «необходимый» период в 434 дня<sup>1</sup>.

Что касается годичного компонента в движении полюса, то его возбуждение атмосферным угловым моментом (ЕААМ) не вызывает сомнений. В последнее время появилось несколько работ, посвящённых влиянию на возбуждение годичного компонента водного баланса атмосферы и океана (Jochmann, 1999; Wunsch, 2000). Этот компонент, будучи не строго периодичным и не повторяющимся по амплитуде год от года,

---

<sup>1</sup> Ещё в работе (Dahlen, 1976) упомянутый выше период в 404 дня увеличивается на 1.5 дня за счёт жидкого ядра и на 27.5 дня за счёт океанических приливов, так что несовпадение с наблюдаемым периодом находится в пределах ошибок. Налицо две весьма разные модели, одинаково хорошо совпадающие с наблюдениями, явление довольно частое в геофизике.

может в свою очередь служить возбуждающим фактором для свободной нутации Земли. На это обратил внимание ещё Джеффрис (1960), указав на «*возможность возбуждения свободной нутации нелинейным откликом на него внутренних слоёв Земли*». Вар (Wahr, 1984) оценил вклад этого сезонного влияния в 25-30%. В работе (Манк, 1964) рассматривалась возможность возбуждения ЧДП сезонными колебаниями. При этом добротность Земли ( $Q$ ), как осциллирующей системы, должна быть в три раза больше, чем определённое в то время значение  $Q=30$ . Современные данные дают оценку  $Q \approx 150$  (Brzezinski, Petrov, 1995), однако проблема возбуждения ЧДП и переменность его амплитуды продолжает дискутироваться.

В области неравномерности вращения Земли самые мощные процессы, имеющие квазирегулярный характер с характерным временем порядка десятков лет (так называемые декадные вариации), также не имеют однозначного геофизического объяснения. Дискутируются в основном электромагнитное и конвективное взаимодействие мантии и ядра для их объяснения. Однако помимо довольно мощных приливных вариаций и декадных вариаций во вращении Земли присутствуют квазирегулярные вариации с характерным временем порядка нескольких лет, которые вообще выпадают из поля зрения исследователей.

В данной статье сделана попытка конкретизировать предположение Джеффриса о возможности возбуждения свободной нутации сезонными вариациями движения полюса на основе модели с нелинейным трением между слоями Земли. Кроме того, обнаруженные квазигармонические долгопериодические вариации во вращении Земли также могут быть возбуждаемы взаимодействием внутренних оболочек Земли, нелинейно реагирующих на фазовые соотношения сезонных и чандлеровских колебаний полюса.

### **Геофизические предпосылки модели**

По данным современных геологических, сейсмических и геодинамических исследований можно выделить несколько слоёв, на границе которых возможны взаимодействия с нелинейным трением (Хаин, Ломизе, 1995). Во-первых, это граница коры и мантии, обозначенная резким скачком скорости сейсмических волн и которая, следовательно, разделяет среды с разной плотностью.

Во-вторых, это граница литосферы и астеносферы, пролегающая на разных глубинах под океанами (иногда всего 3-4 км и под континентами (до 350 км). Отличие этих сред в пластичности астеносферы (наличие расплава или хотя бы аморфизации вещества) по сравнению с хрупкой литосферой, представленной многочисленными плитами. В принятой сейчас концепции тектоники литосферных плит предполагается даже наличие взаимного вращения литосферы относительно астеносферы (Smith, Lewis 1998; Shahabpour, Tturnit, 2001), отражением чего является перемещение «горячих точек» по поверхности Земли. При этом литосфера как бы отстаёт во вращении от астеносферы, то есть смещается к западу. Существование движения среднего полюса косвенно также подтверждает возможность относительного движения литосферы и астеносферы.

Ещё две границы расположены между верхней мантией, переходной зоной и нижней мантией. Они разделяют вещество мантии, находящееся в разном фазовом состоянии. Судя по данным сейсмической томографии, в каждом из этих слоёв можно предполагать наличие собственных конвективных ячеек, которые соприкасаются на границах раздела и, следовательно, имеют противоположное вращение.

Граница мантии и жидкого ядра также может давать вклад в передачу момента за счёт сложной топографии этой границы и нелинейного трения на границе с нижней мантией. Кроме того, в этой зоне возможны периодические возмущения давления со стороны жидкого ядра на нижнюю мантию, что в прямую приводит к нелинейности в передаче момента между ними (Гохберг и др., 1995).

В геофизической литературе обсуждается также существование сверхвращения внутреннего ядра относительно внешнего жидкого ядра (по сейсмическим данным до 5 град/год). Таким образом, в недрах Земли более чем достаточно взаимноподвижных оболочек, на границах которых могут возникать нелинейные механизмы передачи момента.

Рассмотрим на модели один из возможных нелинейных механизмов трения, не конкретизируя, между какими именно слоями Земли он может возникать. Суть рассмотренного ниже численного эксперимента в оценке возможности возбуждения свободной нутации Земли почти годовыми вариациями движения полюса. При этом не использовались конкретные характеристики слоёв Земли. В качестве параметра модели использовалось гипотетическое нелинейное трение между слоями, проявляющееся на близких к году частотах. Этот параметр  $S$  (selectivity) задаёт степень нелинейности (“избирательности”) передачи возбуждающего момента и вводится как переменная добавка к функции возбуждения  $Y+dY$ . Его роль в модели состоит в регулировании сцепления слоёв Земли в зависимости от состояния вещества в зоне их контакта.

Более детальное рассмотрение этого механизма основано на предположении существования в переходных слоях между оболочками Земли вещества, находящегося в аморфном состоянии. Могут существовать две «конкурирующие» ситуации, определяемые агрегатным состоянием вещества (которое зависит в первую очередь от температуры). В случае с низкой температурой при малых относительных скоростях может проявляться межмолекулярное сцепление («трение покоя»), намного большее, чем кинематическое трение, соответствующее более высоким скоростям смещения. С ростом температуры «трение покоя» уменьшается, и начинает доминировать вязкое трение тем большее, чем больше относительные скорости слоёв. В случае встречного движения с увеличением скорости в вязкой среде будет возрастать и трение, что увеличит возбуждающий момент. При попутном же движении трение ослабнет и передаваемый от коры момент уменьшится. Таким образом параметр  $S$  является функцией температуры – он положителен при сравнительно низкой и отрицателен при более высокой.

Предполагаемая асимметрия передачи импульса от внешних оболочек Земли к внутренним обеспечивает «подкачку» энергии двумерного маятника Земли с собственной частотой  $\omega_c$  (ЧДП) при  $S > 0$  и наоборот, оказывает тормозящее воздействие при  $S < 0$ . Флуктуации температуры, оказывающие влияние на параметр  $S$ , вызываются переменными потоками эндогенного тепла.

Надо заметить, что в первую очередь этот нелинейный механизм может функционировать в переходном слое между литосферой и астеносферой, где по некоторым оценкам существует западный дрейф литосферы по астеносфере со скоростью до 20 см/год на экваторе и исчезающий в районе полюсов. Помимо этого, большая вязкость этого слоя под континентами, чем под океанами (в 6-8 раз), делает ещё более неоднородным поле скоростей, что с неизбежностью приводит к возникновению ситуаций сброса накопленной потенциальной энергии. Таким образом, параметр  $S$  может в течение очень непродолжительного времени сменить знак.

Если рассмотренный механизм возбуждения собственных колебаний Земли действительно существует, то в поведении ЧДП должны наблюдаться особенности, связанные со сравнительно резкими торможениями и раскачкой. К сожалению, длина рядов наблюдений ПВЗ недостаточна для достоверного подтверждения этого. Тем не менее, особенности ЧДП в 1860 и 1930 гг. могут быть интерпретированы с этой точки зрения.

Для проведения моделирования необходимо иметь представление о реальных взаимных движениях полюса - годового и чандлеровского. На верхнем рис. 1 представлена картина их взаимных движений в течение XX века (**an-ch**). Эти компоненты были выделены из ряда EOP(IERS)C01 (<http://hpiers.obspm.fr/>) с помощью сингулярного

спектрального анализа SSA (<http://vega.math.spbu.ru/>) в работе (Воротков и др, 2002). Видно, что скорость взаимных движений в течение года синусоидально меняется, а в течение квазিশестилетнего периода амплитуда этого движения меняется от нескольких метров до десятков метров в год, как в 50-х годах XX столетия.

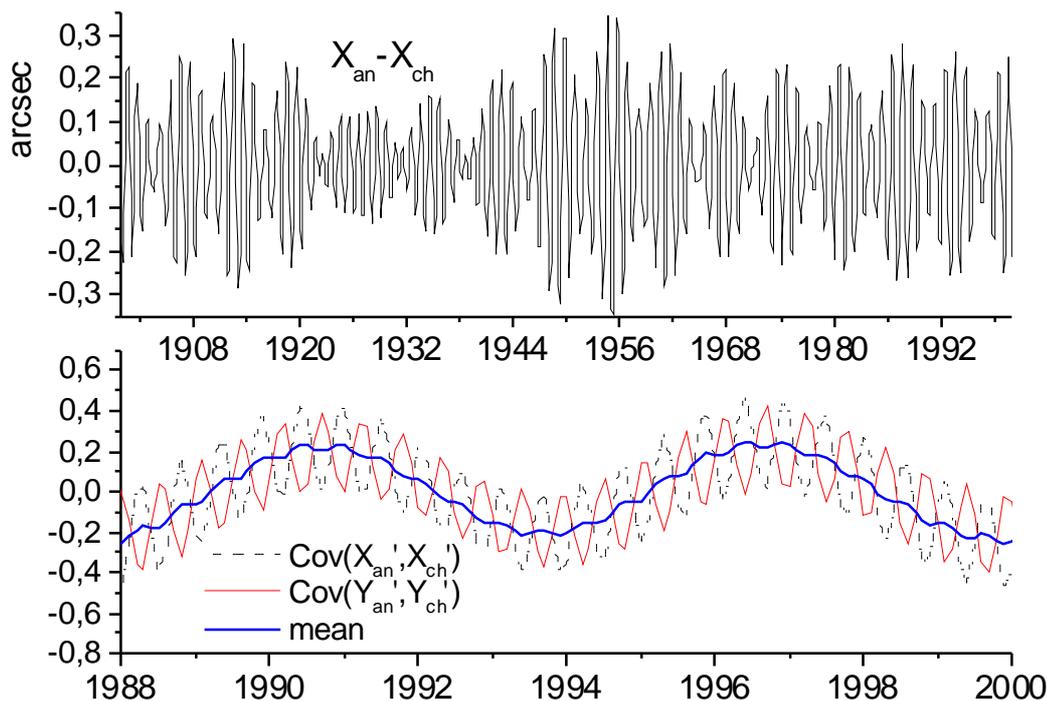


Рис.1

### Моделирование возбуждения чандлеровского движения полюса

Целью моделирования является получение оценки параметра нелинейности  $S$ , обеспечивающей возможность возбуждения свободного колебания системы (с периодом 1.2 года) до амплитуды, превосходящей амплитуду возбуждающих колебаний (с периодом 1 год) в два раза ( $K_{ac}=A_{ch}/A_{an}=2$ ), и исследование изменений амплитуды на частоте свободных колебаний в зависимости от  $S$ .

При моделировании возбуждения свободной нутации Земли затруднительно строго обосновать использование параметров упругости и вязкости для различных слоёв Земли ввиду их неизвестной зависимости от длительности и силы напряжения, их конечное сопротивление и т.д. Современные значения вязкости для различных слоёв мантии, например, оцениваются в пределах от  $10^{20}$  до  $10^{23}$  пуаз, а вообще экспериментальный разброс коэффициента вязкости составляет 12 порядков (Гохберг и др., 1995). В этом смысле результаты моделирования «не следует принимать слишком всерьёз» (Манк, 1964). Однако использование диссипативной функции  $Q^{-1}=(1/2\pi)dE/E$ , определяющей относительное рассеяние энергии осциллирующей системой за цикл, значительно облегчает моделирование. При этом не происходит потери значимости получаемых результатов ввиду того, что  $Q$  (добротность) может быть выражена через соответствующие параметры системы (жесткость, вязкость и плотность). Экспериментальные оценки добротности для всей Земли в целом на частоте ЧДП варьируются в пределах  $35 < Q < 400$  (Anderson at al., 1978), при этом в верхней мантии  $Q \approx 110$ , в нижней мантии  $Q \approx 400$ .

Пусть вектор вращения Земли  $w = w_0 + dw$ , где  $w_0 = [0, 0, \Omega]$ , а  $dw = [m_1, m_2, m_3]$ . Здесь  $m_i(t)$  - компоненты мгновенной оси вращения Земли (ПОЗ), а  $\Omega$  - постоянная угловая скорость вращения Земли. Тогда уравнения, описывающие движения мгновенного полюса Земли под действием безразмерной возбуждающей функции  $Y[\psi_1, \psi_2, \psi_3]$ , имеют вид (Манк, 1964):

$$\begin{aligned} (1/\omega_c) dm_1/dt + m_2 &= \Psi_2 \\ (1/\omega_c) dm_2/dt - m_1 &= -\Psi_1 \end{aligned}$$

В численном эксперименте на основе приведённых уравнений с шагом интегрирования 200 точек на год исследовалась возможность возбуждения годичными вариациями движения оси вращения свободной нутации эллипсоида вращения с добротностью системы  $30 < Q < 150$  и периодом собственных колебаний  $1/\omega_c = 1.2$  года. Амплитуда сезонных колебаний полюса составляет около половины амплитуды ЧДП, поэтому в качестве возбуждающих функций использовались годичные осцилляции, нормированные в наблюдаемой пропорции к амплитуде ЧДП ( $K_{ac}=2$ ).

Как следует из предыдущего раздела, общий вид возбуждающей функции в модели  $Y + dY = (1 + S * Cov)Y$ , где функция  $Cov = an' * ch'$ , а  $an'$ ,  $ch'$  - производные по времени от  $an$  и  $ch$ . На нижнем **рис. 1** для примера показан вид функции  $Cov$  для каждой из координат и её трендовая составляющая.

В последующих рисунках представлены результаты моделирования при некоторых значениях параметров  $S$ ,  $Q$  и возбуждающей функции  $Y$ . Для каждого модельного ряда вычислен амплитудный спектр. На рисунках приведены результаты после выхода системы на стационарный режим колебаний и только по одной координате. При  $S=0$  модель сводится к обычной упруго-вязкой модели. На **рис. 2** для двух значений  $Q$  (50 и 120) и  $S=0$  приведены результаты отклика модели на возбуждение нормированной, но реальной годичной составляющей  $Y = an$ . Видно, что при  $S=0$  система слабо зависит от добротности  $Q$ . Амплитудный спектр показывает незначительное увеличение амплитуды собственных колебаний системы для большего  $Q$  по сравнению с возбуждающим колебанием. При использовании в качестве возбуждающей функции  $Y = \sin(2\pi t)$  при тех же  $Q$  и  $S=0$  собственных колебаний системы не возникает вообще.

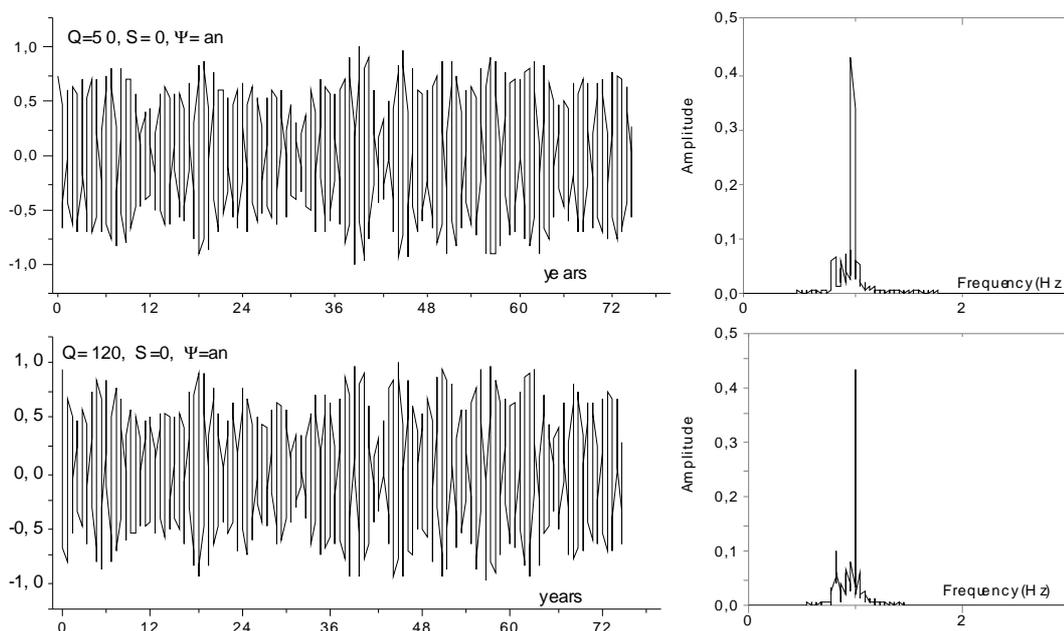


Рис.2

Величина  $S$  определяет диапазон изменений параметра системы, отвечающего за передачу воздействия (в дальнейших примерах  $-0.2 < S < 0.2$ ). Положительные значения параметра  $S$  «раскачивают» систему, отрицательные – тормозят. На **рис. 3** при использовании  $Y=\sin(2\pi t)$  и  $S=0.2$  ( $Q=50$ ) получается такое же хорошее (и даже избыточное  $K_{ac} > 2$ ) возбуждение собственной моды, как и при  $S=0.1$  ( $Q=120$ ). Однако флуктуации амплитуды ЧДП, сопоставимые с реальными, не наблюдаются.

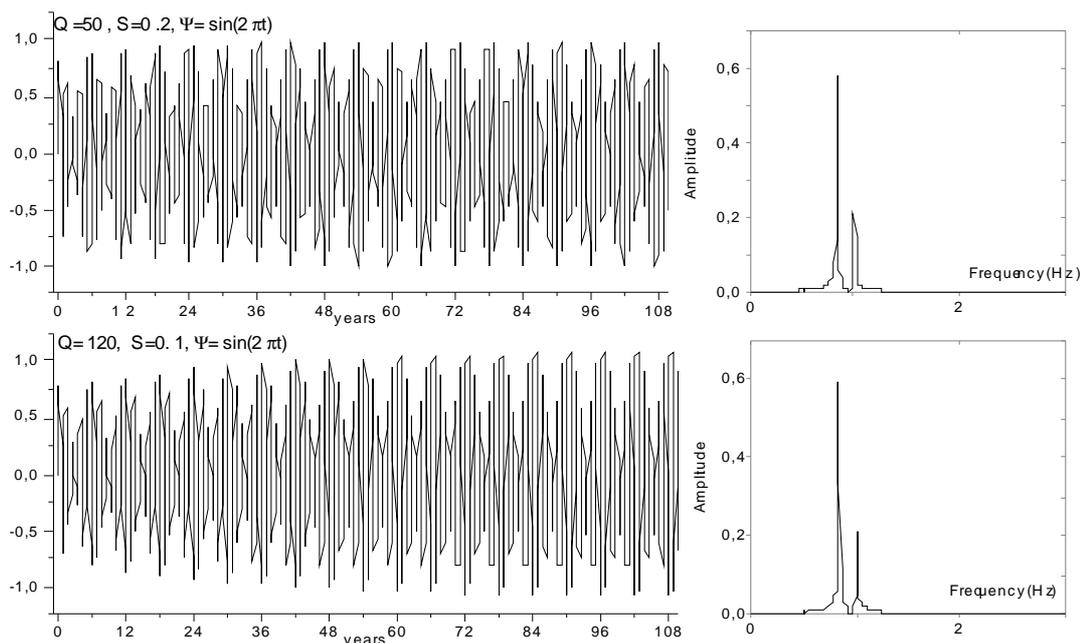


Рис. 3

На **рис. 4** показана реакция модели на ступенчатое поведение  $S$  ( $Q=120$ ). Видно, что близкая к реальному поведению динамика амплитуды свободного колебания, а также соотношение амплитуд возбуждающего и свободного колебаний может быть достигнута изменением только параметра  $S$ . Оказалось также, что при одинаковых модулях  $S$  торможение эффективнее возбуждения. Выбор оптимального поведения параметра  $S$  с точки зрения подобию модельного и реального рядов должен осуществляться, исходя из независимых геодинамических, геофизических или иных данных. Один из возможных кандидатов на такой управляющий параметр рассмотрен в следующем разделе.

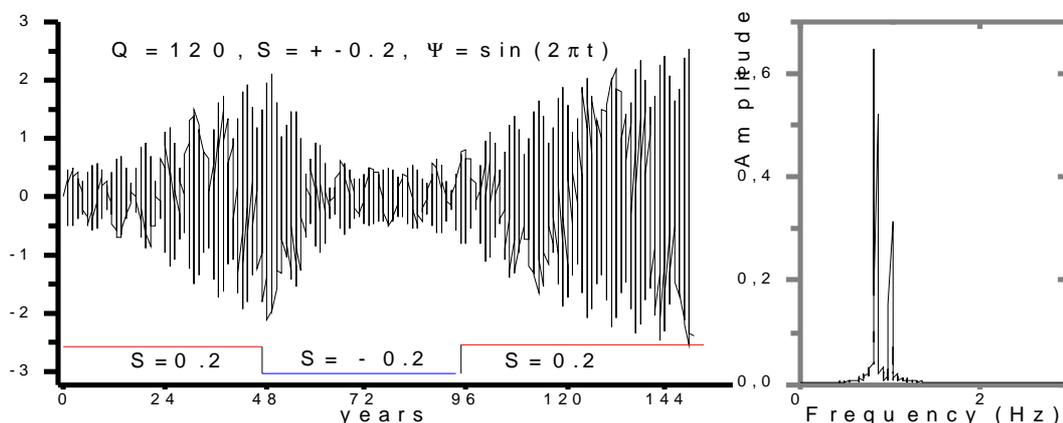


Рис.4

### Долгопериодические вариации скорости вращения Земли

В работе (Горшков, Щербакова, 2002) в рядах EOP(IERS)C04 (1962-2001 гг.) были обнаружены и исследованы методом SSA долгопериодические (квазишестилетние) вариации скорости вращения Земли (LOD). Эти вариации заметно коррелируют с фазовыми соотношениями годового и чандлеровского движения полюса, которые рассматривались выше как модель возбуждающая ЧДП. Оказалось, что в периоды их синфазности (когда трендовая составляющая  $Cov$  положительна) практически без фазовых смещений наблюдается также и рост продолжительности суток. В противофазном их движении – вращение Земли ускоряется. Это вполне соответствует рассмотренной выше модели. При «попутном» движении (синфазность перемещения оболочки относительно мантии) внутреннее трение усиливается, сцепление слоёв увеличивается и Земля, естественным образом, замедляет своё вращение. При противофазном движении ослабевает трение, литосфера как бы проскальзывает и Земля ускоряет вращение.

Для проверки этого факта, насколько нам известно, ещё никем не исследованного, желательно сопоставить с имеющимися рядами координат полюса EOP(IERS)C01 (1846-2001) более продолжительные ряды вариаций продолжительности суток LOD. Помимо данных IERS существует ряд LOD с 1623 по 1995 годы (Stephenson, Morrison, 1984) и ряд LOD с 1832 по 1997 годы (Gross, <http://hpiers.obspm.fr/>), основанные до 1949 года на наблюдениях покрытия звёзд Луной. Точность и плотность (одно значение в год) этих рядов существенно ниже данных служб движения полюса и вращения Земли, функционировавших в XX веке, но долгопериодические вариации можно попытаться выявить. Оба ряда в пределах ошибок совпадают, однако лишь с момента создания атомной шкалы времени (1956 год) уровень ошибок в них стал меньше 0.1 мсек.

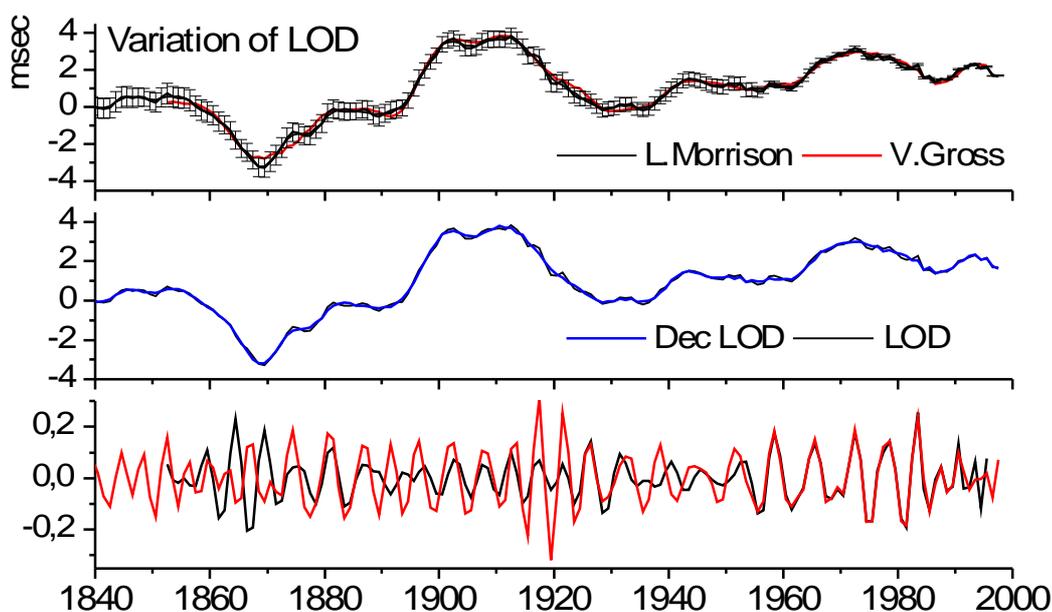


Рис.5

На верхнем **рис. 5** приведены исходные ряды LOD с ошибками. На среднем рисунке методом SSA с использованием 24-летнего лага по первым 6 главным компонентам (99,3% мощности ряда) выделены так называемые декадные вариации, обычно объясняемые взаимодействием ядра и мантии. На нижнем рисунке – остаток, в котором отчетливо видны долгопериодические вариации, совпадающие после 1960 года с обнаруженными в EOP(IERS)C04.

Заметно, что после 1986 года, когда классическая астрооптическая подсистема (АО) определения ПОЗ перестала учитываться в решении, характер кривой сильно изменился и приобрёл вид случайного процесса. При анализе более подробных и точных данных LOD из решения EOP(IERS)C04 видно (Горшков, Щербакова, 2002), что вариации сохранились, но их амплитуда резко уменьшилась. Это может быть обусловлено:

- случайным совпадением - в 1860 году наблюдалась подобное же «затухание»;
- переходом на «космические» средства определения ПОЗ, т.е. относительно центра масс Земли, а не относительно отвесных линий как в АО ПОЗ. Но тогда следует признать, что какие-то редукции, например некоторые нутационные члены, не вводились раньше или не принимаются в расчёт сейчас, то есть ряд не однороден;
- какими-то ошибками наблюдений АО ПОЗ или способом обработки данных.

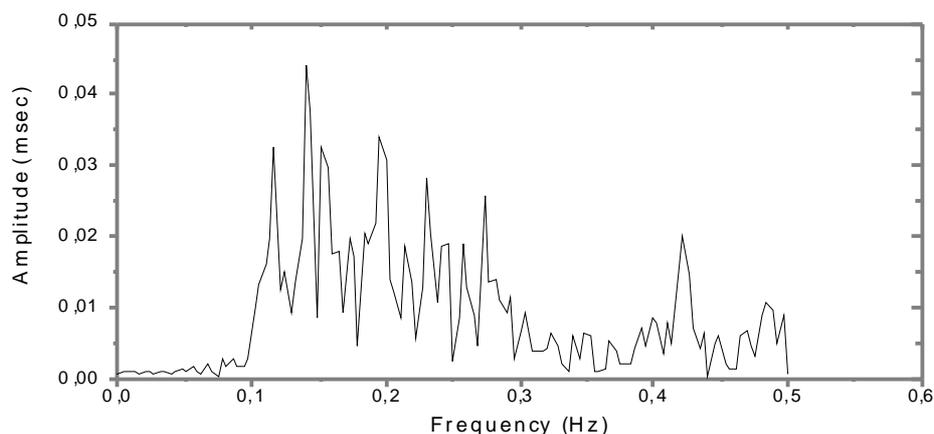


Рис.6

На **рис.6** приведён амплитудный спектр данных из нижнего графика рис.5. Видно, что вся периодика процесса сосредоточена в интервале от 5.1 до 8.5 года с максимумом на 7.1 года и отдельно стоящим пиком на 2.4 года.

Для сопоставления с LOD использовались данные EOP(IERS)C01 о движении полюса (X, Y), свёрнутые в виде редуций  $\text{red} = (X\sin l + Y\cos l) \text{tg} j / 15$  для координат Пулково. Для обозначения фазовых соотношений годового и чандлеровского движения полюса использовалась та же функция **Cov**, нанесённая после масштабирования и сглаживания на **рис. 7** пунктирной линией. При синфазном движении компонент функция **Cov** положительна, в случае противофазного их движения – отрицательна. Использование вместо редуций годового и чандлеровского компонента координат движения полюса, не меняет характер низкочастотной (более года) составляющей **Cov**.

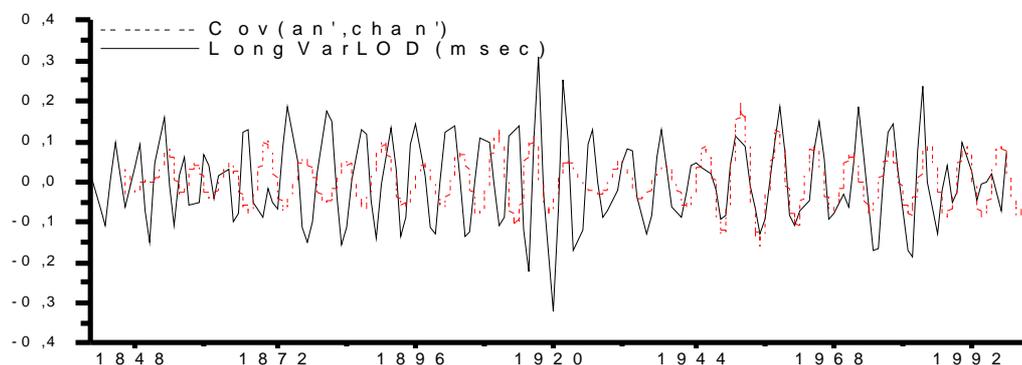


Рис. 7

Видно, что основной характер исследуемых вариаций LOD сохранялся и в прошлом, но имели место значительные колебания амплитуды этих вариаций и неоднократный сбой фазы. Из сравнения кривых LOD и COV видно, что вывод, сделанный на основании лишь современных данных из решения EOP(IERS)C04 (Горшков, Щербакова, 2002) о синфазности вариаций LOD с фазовыми соотношениями годового и чандлеровского движения полюса, не распространяется на весь исследуемый интервал.

В частности, большую часть XIX века процесс долгопериодических колебаний LOD был в противофазе с функцией Cov. Однако во время известного затухания и сбоя фазы ЧДП в конце 20-х годов прошлого столетия произошла синхронизация этих процессов. Любопытно, что этому предшествовало в начале 20-х годах резкое увеличение амплитуды долгопериодических колебаний LOD и их учащение до 5 летнего периода пульсаций, а затем и затухание аналогичное затуханию ЧДП. Можно предположить, что именно в этот период происходил процесс смены механизма трения, т.е. параметр  $S$  в нашей модели сменил знак. Однако точность данных в период XIX начала XX века не позволяет делать уверенные выводы. Можно говорить только о наличии исследуемых колебаний LOD и наличии обоих колебаний полюса, в некоторых интервалах эти данные интерполированы, а местами просто отсутствуют.

## **Выводы**

1. Использование модели с нелинейным трением на границах раздела сред внутри Земли показало, что годовой компонент может являться возбуждающим свободную нутацию фактором. Более того, можно объяснить и многие особенности в поведении амплитуды ЧДП.
2. Обнаруженные квазигармонические долгопериодические вариации во вращения Земли могут быть возбуждаемы взаимодействием внутренних оболочек Земли, нелинейно реагирующих на фазовые соотношения сезонных и чандлеровских колебаний полюса. Однако уровень ошибок в прошлом ограничивает возможность утверждать это уверенно.
3. Обнаруженные вариации LOD имеют характерные особенности (затухание, потеря фазы) в целом совпадающие во времени с аналогичными особенностями в динамике движения полюса, что косвенно свидетельствует о взаимосвязи этих процессов или о наличии общей причины их модуляции.
4. Обнаруженные вариации LOD практически исчезают после перехода на «космические» средства определения ПОЗ (1986 г.). Это может свидетельствовать о том, что какие-то редукции не вводились раньше или не принимаются в расчёт сейчас, т.е. ряды IERS не однородны.

## **ЛИТЕРАТУРА:**

- Авсюк Ю.Н., 1996**, *Приливные силы и природные процессы*, М., ОИФЗ РАН.
- Воротков М.В., Горшков В.Л., Миллер Н.О., Прудникова Е.Я., 2002**, *Исследование основных составляющих движения полюса земли*, наст. сборник.
- Горшков В.Л., Щербакова Н.В., 2002**, *Изменение долготы Пулкова и долгопериодические вариации скорости вращения земли*, наст. сборник.
- Гохберг М.Б., Барсуков О.М., Моисеев С.С., Некрасов А.К., 1995**, *О механизме модуляции количества сильных землетрясений и частоты вращения Земли*, ДАН, т.341, № 6, с.813-815.
- Джеффрис Г., 1960**, *Земля, её происхождение, история и строение*, ИЛ, 485 с.
- Курбасова Г.С., Рыхлова Л.В., 2001**, АЖ, *Свободные колебания полюса Земли в системе Земля-Луна*, т. 78, №11, с. 1049 – 1056.

- Курбасова Г.С., Рыхлова Л.В., Рыбалова М.Н.**, 2002, АЖ, *Особенности изменения амплитуды чандлеровского колебания Земли*, т. 79, №6, с. 570-576.
- Манк У., Макдональд Г.**, 1964, *Вращение Земли*, Мир, М., 385 с.
- Сидоренков Н.С.**, 1997, *Влияние Южного колебания Эль-Ниньо на возбуждение чандлеровского движения полюса*, АЖ, т. 74, в. 5, с. 792–795.
- Хаин В.Е., Ломизе М.Г.**, 1995, *Геотектоника с основами геодинамики*, МГУ, 495 с.
- Anderson Don L., Minster J. B.**, 1979, *The frequency dependence of  $Q$  in the Earth and implications for mantle rheology and Chandler wobble*, Geophys. J. R. astr. Soc., 58, 431-440.
- Brzezinski A, Petrov S.**, 1995, *An analysis of the new long polar motion series: estimation of the Chandler wobble parameters*, XXI IUGG General Assembly, Boulder.
- Celaya M.A., Wahr J.M., Bryan F.O.**, 1999, *Climate-driven polar motion*, J. Geophys. Res., 104, № B6, 12, 813-12, 829.
- Chao B., Zhou Y.**, 1999, *Meteorological excitation of interannual polar motion by the North Atlantic Oscillation*, J. of Geodynamics, 27, 61-73.
- Dahlen F.A.**, 1976, *The passive influence of the oceans upon the rotation of the Earth*, Geophys. J. R. astr. Soc., 46, 363-406.
- Furuya M., Hamano J., Naito I.**, 1996, *Quasi-periodic wind signal as a possible excitation of Chandler wobble*, J. Geophys. Res., 101, № B11, 25, 537-25, 546.
- Jochmann H.**, 1999, *The influence of continental water storage on the annual wobble of polar motion, estimated by inverse solution*, J. Geodynamics, 27, 147-160.
- Shahabpour J., Trurnit P.**, *Effect of the relative lithosphere-asthenosphere motion on the global tectonic features*, 2001, J. of Geodynamics, 31, 105-118.
- Smith A., Lewis C.**, 1998, *Differential rotation of lithosphere and mantle and the driving forces of plate tectonics*, J. Geodynamics, 28, 97-116.
- Stephenson, F.R. & Morrison, L.V.**, 1984, *Long term changes in the rotation of the Earth*, Phil. Trans. Roy. Soc. London A313, p.47. см. также Annual Report IERS, 1985.
- Wahr J.M.**, *The effects of the atmosphere and oceans on the Earth's wobble*, 1982, *I. Theory*, Geophys. J. R. astr. Soc. 70, 349-370.  
1983, *II. Results*, Geophys. J. R. astr. Soc. 74, 451-488.
- Wunsch J.**, 2000, *Oceanic influence on the annual polar motion*, J. Geodynamics, 30, 389-399.

## DYNAMICS OF POLAR MOTION AND LONGPERIODIC EARTH ROTATION VARIATIONS

V. Gorshkov, M. Vorotkov

### SUMMARY

*The numerical experiment for estimation of the Earth free nutation excitation by seasonal variations of the polar motion was made. Hypothetic nonlinear friction between the Earth's interior layers was used as model parameter. This parameter regulates the dependence of the layers coupling from the vector correlation of seasonal and free oscillations of the polar motion.*

*Interaction of the long variations of the Earth rotation and polar motion dynamics were researched by proposed model on the base of the Earth orientation data from IERS.*