

• 30.09.09

# КОРРЕКТИВЫ В СХЕМУ СТРОЕНИЯ ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ О НУТАЦИИ, ПРИЛИВАХ И СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЯХ

С.М.Молоденский

# АННОТАЦИЯ

- Внедрение радиоинтерферометров со сверхдлинной базой и криогенных гравиметров позволило повысить точность определения амплитуд нутации и отношений амплитуд главных приливных волн примерно на три порядка. Совместный анализ этих данных и данных о собственных колебаниях открывает принципиально новые возможности исследования внутреннего строения Земли в низкочастотном диапазоне периодов порядка суток, года и сотен миллионов лет (что соответствует периодам приливов, вынужденной нутации, чандлеровского движения полюса и времени, характеризующего вековое замедление скорости суточного вращения Земли). При этом оказалось возможным не только уточнить те параметры, которые уже исследовались ранее сейсмическими методами (такие, как функция крипа мантии, параметры механической добротности мантии в диапазоне сверхнизких частот), но и исследовать неизвестные ранее свойства Земли (сюда можно отнести данные об эллиптичности границы жидкого ядра с мантией и твердого внутреннего ядра, о вязкости жидкого ядра, о величине электромагнитной связи жидкого ядра с мантией и о возможных значениях электропроводности нижней мантии, о возможных распределениях частоты Брунта-Вяйсяля в мантии и ядре, о горизонтальных неоднородностях нижней мантии).

# АННОТАЦИЯ

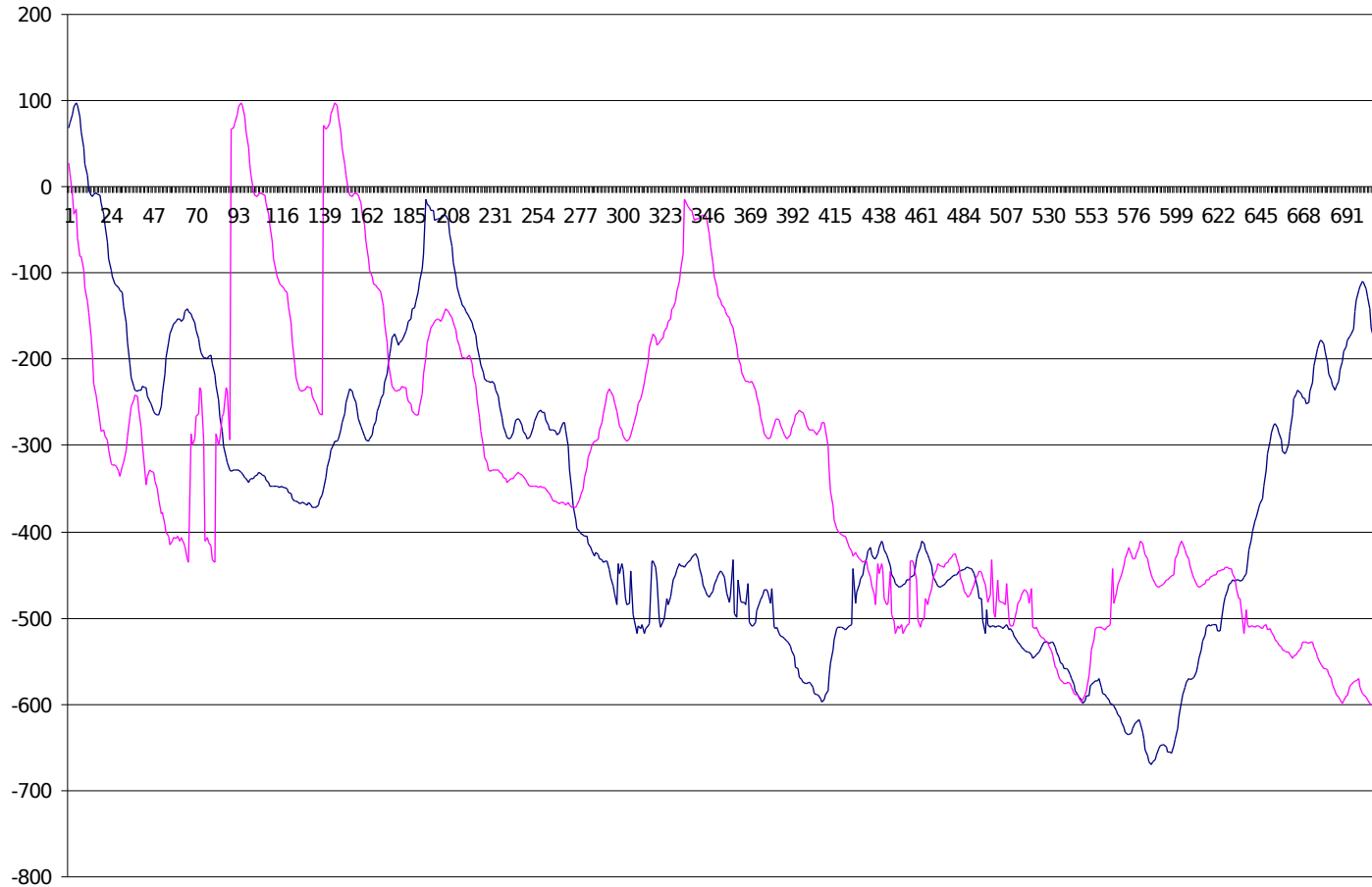
- Здесь будут представлены результаты решения обратной задачи построения радиально симметричных частотно зависимых моделей внутреннего строения Земли, наилучшим образом согласующихся со всей совокупностью современных данных об амплитудах и фазах приливов и вынужденной нутации, а также о периодах и декрементах затуханий собственных колебаний. Минимизация невязок осуществлялась методом градиентного спуска в пространстве параметров, определяющих плотность (при условиях неизменности полной массы и полного момента инерции) и функции крипа на разных глубинах. В качестве исходной использовались модели PREM для периодов колебаний 1с и 200с и трехпараметрическая модель, наилучшим образом согласующаяся с данными о приливах и нутации Земли в близсуточном диапазоне [Молоденский, 2004].

# АННОТАЦИЯ

- Построены модели, значительно лучше согласующиеся с данными наблюдений не только во всем диапазоне периодов от одной секунды до 14 месяцев, но и в более узких диапазонах. Так например, в диапазоне периодов собственных колебаний (от ~1 минуты до 54 минут) **среднеквадратические ошибки частот радиальных колебаний уменьшаются в 12 раз, основных тонов сфероидальных колебаний ( $n=2, \dots, 15$ ) уменьшается в 4 раза, крутильных колебаний – в 2 раза, амплитуд главных компонент вынужденной нутации – в 2.5 раза. ПРИ ЭТОМ ОТНОСЯЩАЯСЯ К ПЕРИОДУ КОЛЕБАНИЙ 1с МОДЕЛЬ ПРЕМ ОСТАЕТСЯ ПРАКТИЧЕСКИ НЕИЗМЕННОЙ (невязки времен прохождения объемных волн почти неизменны)**

# ФРАГМЕНТ ЗАПИСИ ДВУХ РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРОВ (Япония и США)

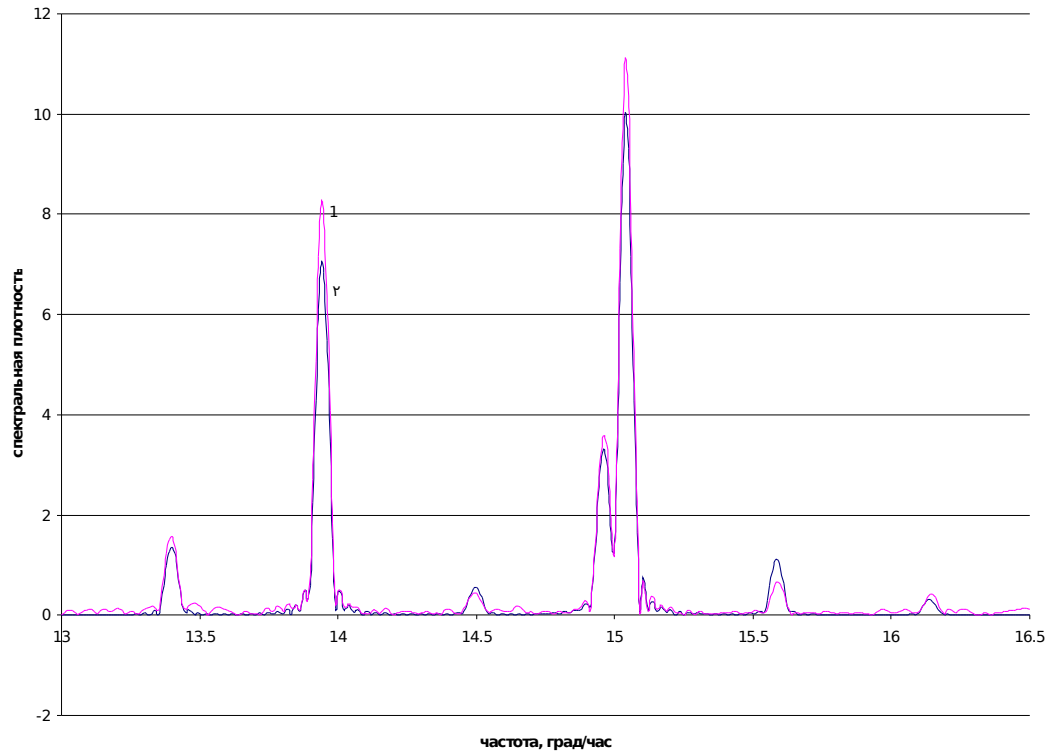
теоретический предел точности определения амплитуд нутаций  $\lambda / (D N^{1/2}) \sim 1 \text{ см} / (10^9 \text{ см} / (10^6)^{1/2}) = 10^{-12} = 0.02 \text{ микросек. дуги.}$   
В действительности  $\sim 20 \text{ микросекунд}$



# ПРИЛИВНЫЕ И АСТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ: НОВЫЕ МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ И ОБРАБОТКИ

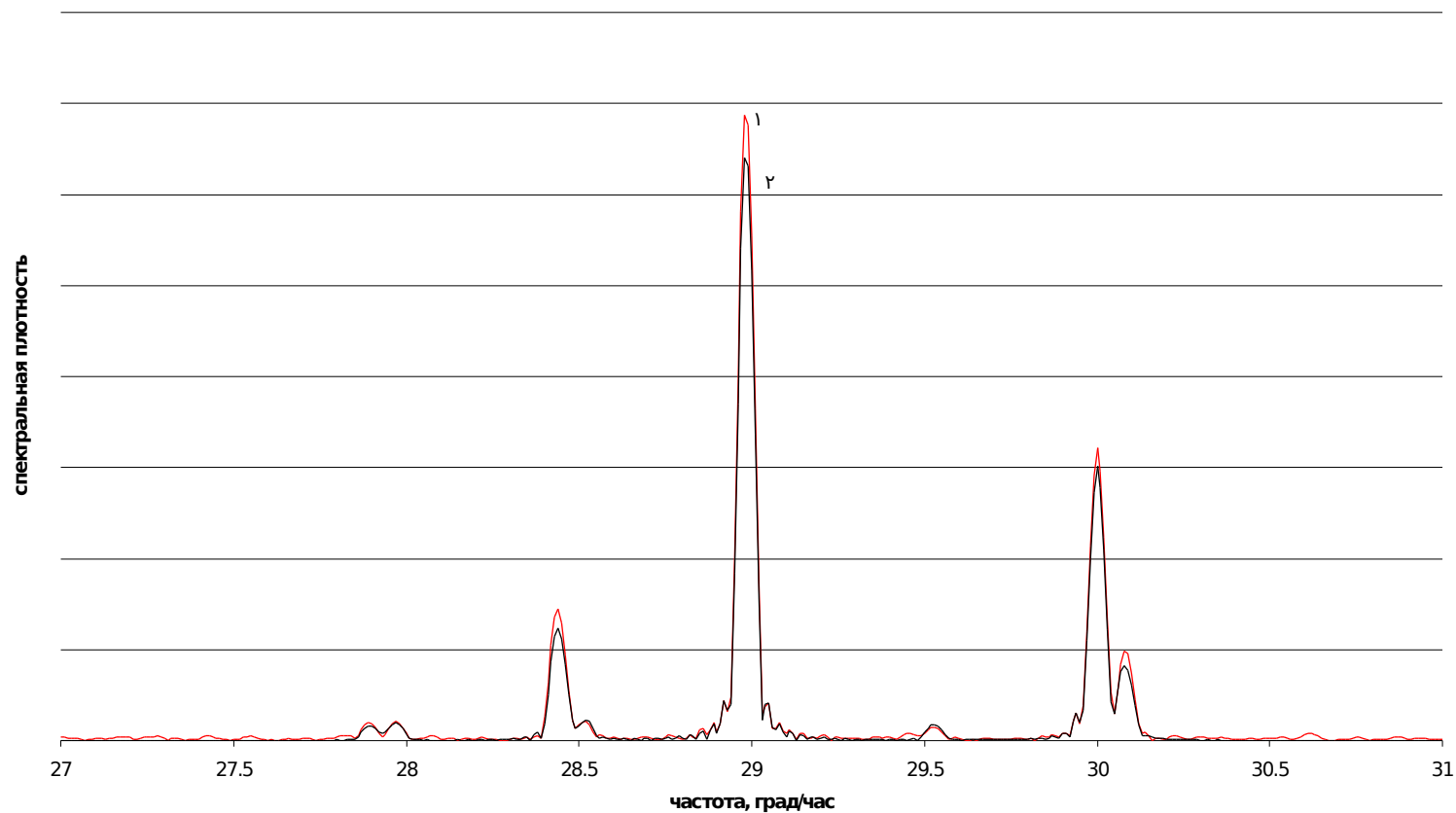
- СПЕКТРАЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ ПРИЛИВНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ В СУТОЧНОМ ДИАПАЗОНЕ

рис.1



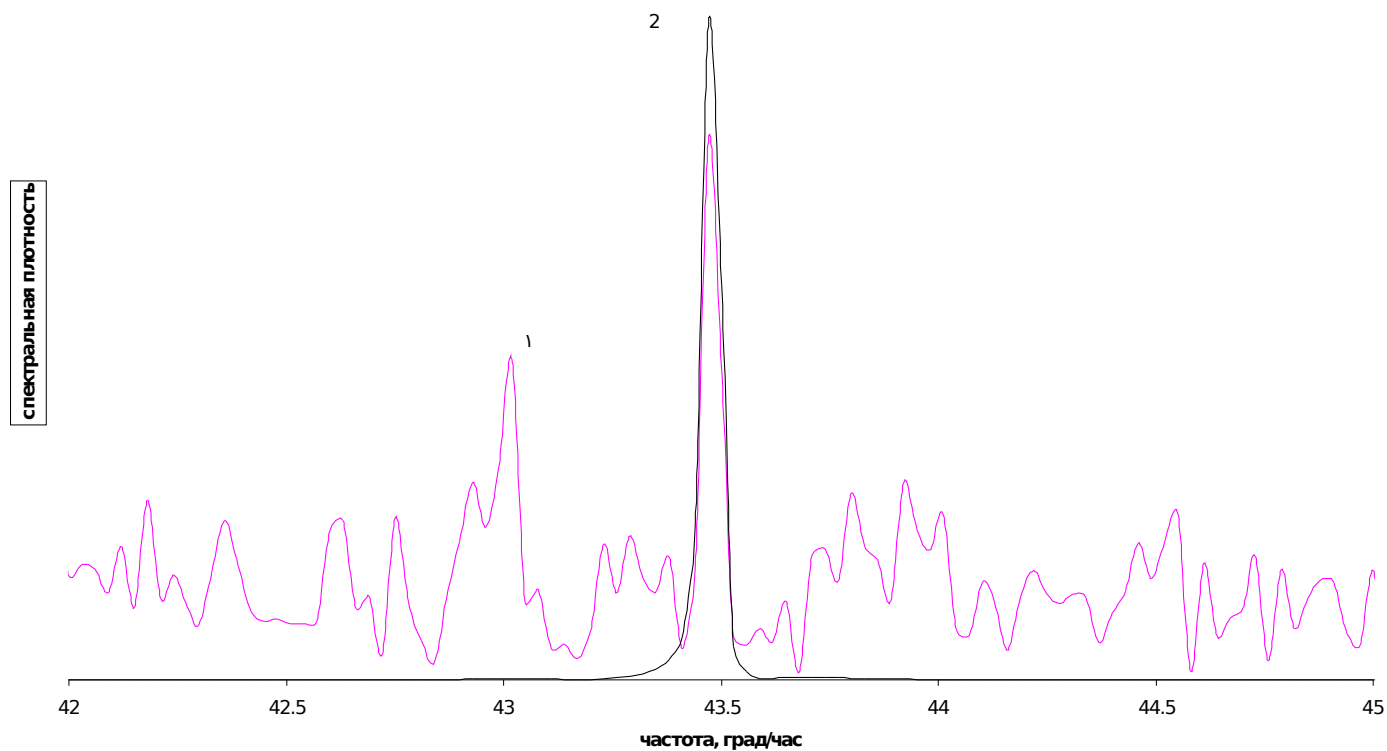
# СПЕКТРАЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ ПРИЛИВНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ В ПОЛУСУТОЧНОМ ДИАПАЗОНЕ

рис. 2



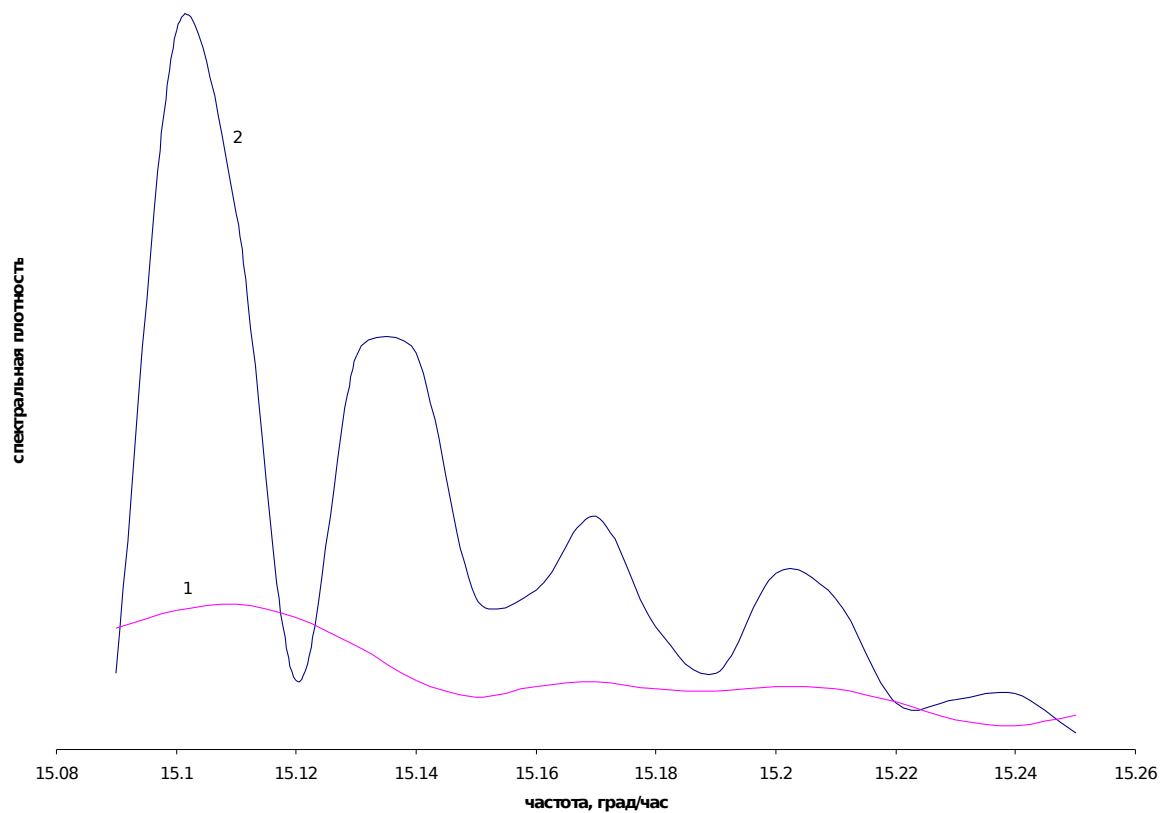
# ПРИМЕР ВЫДЕЛЕНИЯ МАЛОЙ ПРИЛИВНОЙ КОМПОНЕНТЫ (МЗ) МЕТОДОМ КОНТРАСТНОГО ВЫДЕЛЕНИЯ

Рис. 5



# УМЕНЬШЕНИЕ УРОВНЯ ШУМА МЕТОДОМ КОНТРАСТНОГО ВЫДЕЛЕНИЯ МАЛЫХ ПРИЛИВНЫХ КОМПОНЕНТ

Рис. 4



## СРАВНЕНИЕ НАБЛЮДЕННЫХ И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ АМПЛИТУД НУТАЦИЙ ДЛЯ СКОРРЕКТИРОВАННОЙ (С ПОМОЩЬЮ ТРЕХ ПАРАМЕТРОВ) МОДЕЛИ PREM 200с

• T	6817	-6817	366.3	-366.3	183.1	-183.1	13.7
• 1	-1177.03	-8050.98	25.03	-24.89	-530.75	-22.59	-91.51
• 2	-1180.76	-8022.019	25.64	-33.55	-549.27	-24.73	-94.46
• 3	0.12	-0.96	-0.02	0.18	0.60	0.06	0.03
• 4	0.05	-0.40	-0.01	0.45	0.40	0.05	0.12
• 5	0.06	-0.40	0.026	-0.10	-0.12	0.02	0.00
• 6	-0.013	0.099	0.003	-0.056	-0.076	-0.009	-0.024
• 7	-1180.54	-8023.68	25.64	-33.08	-548.47	-24.61	-94.33
• 8	-1180.38	-8024.98	25.63	-33.08	-548.47	-24.58	-94.21

- T- периоды в звездных сутках (отрицательные значения T соответствуют обратным компонентам нутаций); 1-амплитуды нутаций для абсолютно твердой модели Земли без жидкого ядра в миллисекундах дуги; 2- теоретические значения для модели Земли с идеально упругой оболочкой и неоднородным жидким ядром, рассчитанные для значений  $e=0.002665$  и показателя степени функции крипа нижней мантии  $\alpha =0.04$  без учета динамических эффектов в мантии, эффектов внутреннего твердого ядра и океанических приливов; 3-эффекты океанических приливов; 4-эффекты неупругости мантии; 5-эффекты твердого внутреннего ядра; 6-динамические эффекты мантии; 7- суммарные теоретические значения для реальной модели Земли с неупругой мантией, неоднородным жидким ядром, внутренним твердым ядром и океаном, рассчитанные с учетом динамических эффектов в мантии для тех же значений  $e=0.002665$  и  $\alpha =0.04$ ; 8- наблюдаемые амплитуды нутаций.

## СРАВНЕНИЕ НАБЛЮДЕННЫХ И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ АМПЛИТУД ГЛАВНЫХ СУТОЧНЫХ ПРИЛИВНЫХ ВОЛН ДЛЯ СКОРРЕКТИРОВАННОЙ (С ПОМОЩЬЮ ТРЕХ ПАРАМЕТРОВ) МОДЕЛИ PREM 200c

- Значения гравиметрического фактора  $\delta = 1 + h - (3/2)k$  для реальной модели Земли, с неупругой мантией, неоднородным жидким ядром, внутренним твердым ядром и с океаном, рассчитанные при значениях  $\beta = 0.002665$  и  $\alpha = 0.04$  и исправленные за воздействие сил инерции из-за приливных деформаций и сил инерции из-за нутации, действующих непосредственно на приливный гравиметр для суточных волн.

Волна	K 1	Ψ 1	P1	Φ 1	O1
T	∞	-366.3	183.1	-183.1	13.7
1	1.136456	1.278470	1.151708	1.174011	1.157431
2	1.1376	1.2305	1.1521	1.1736	1.1572
	± 0.00006	± 0.0078	± 0.0002	± 0.0045	± 0.00008

## Метод градиентного спуска

1. Вводится параметризация распределений плотности с глубиной (с учетом неизменности полной массы и момента инерции), параметров добротности мантии с глубиной и с частотой (в диапазоне частот приливов, нутации и собственных колебаний; всего -64 параметра).
2. В 64-мерном пространстве определяется направление, вдоль которого средневзвешенное квадратическое отклонение наблюдаемых и теоретических параметров имеет максимальное по модулю (и отрицательное) значение.
3. Спуск в этом направлении производится до тех пор, пока производная среднеквадратических отклонений не обратится в нуль;
4. Та же процедура повторяется до тех пор, пока модуль градиента не окажется меньше наперед заданной величины (для уменьшения модуля градиента в 10 раз необходимо около 50 итераций).

# Параметризация вариаций плотности

- Вариации плотности, удовлетворяющие условиям неизменности полной массы и полного момента инерции Земли, удобно представить в виде разложений по системе полиномов следующего вида:

$$\delta \rho = \delta \rho \begin{cases} 1 + s_1(n) + s_2(n) \cdot r^n & \text{при } r < r_j \\ s_1(n) + s_2(n) \cdot r^n & \text{при } r > r_j \end{cases}$$

- 
- $r_i$  – безразмерные радиусы границ раздела, на которых плотность терпит разрыв (для моделей PREM это границы твердого ядра с жидким ядром, жидкого ядра с мантией, а также границы на глубинах 15 км, 24.4 км, 220 км, 400 км и 670 км);
- $n$ - любое натуральное число.
- В наших расчетах мы ограничивались рассмотрением вариаций плотности, оказывающих наибольшее влияние на амплитуды вынужденной нутации и на частоты нерадиальных собственных колебаний: сюда относятся вариации, терпящие разрыв на границе жидкое ядро – мантия и на глубинах 220, 400 и 670 км; при этом рассматривались полиномы вида (1) степени не выше четвертой; таким образом, вариации плотности, как функции радиуса, задавались значениями одного непрерывно меняющегося параметра и двух дискретно меняющихся параметров.

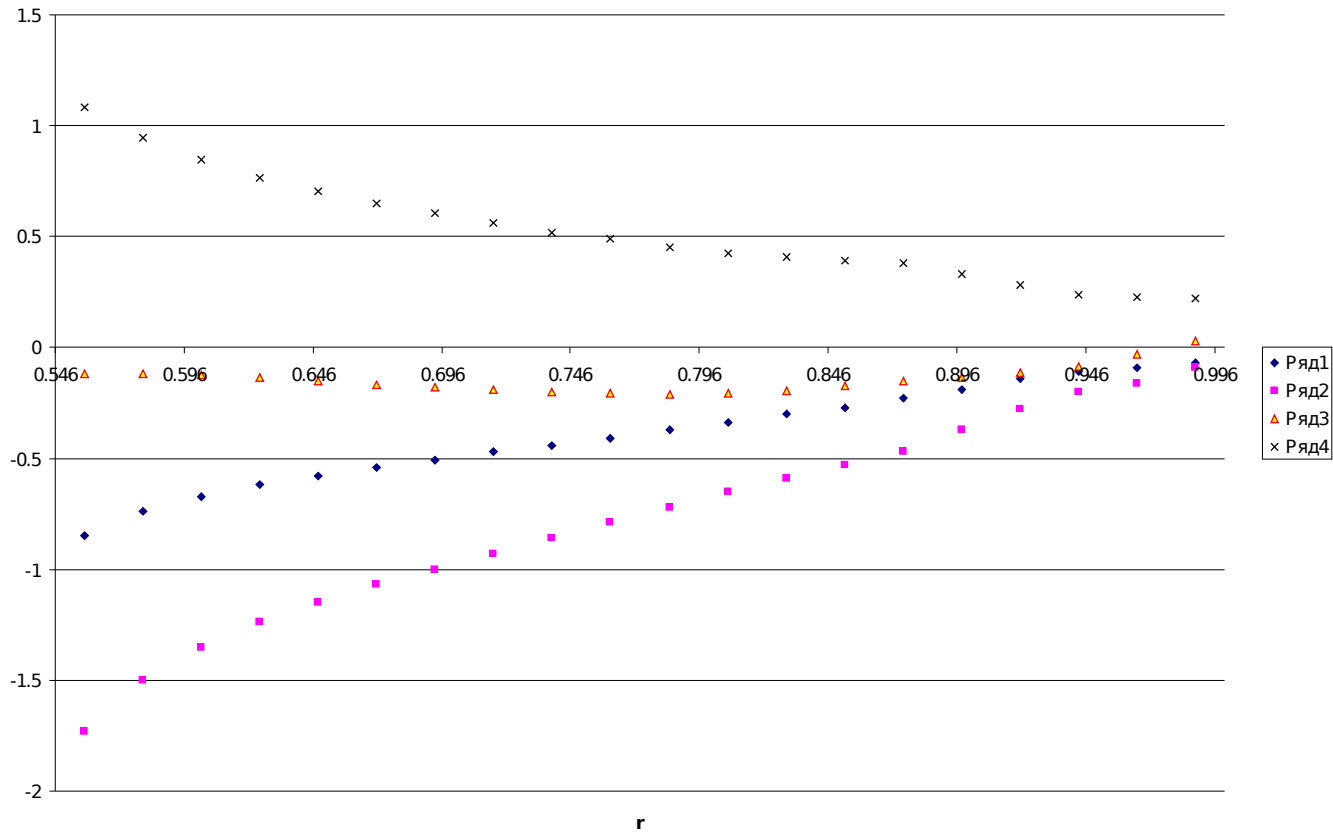
# Параметризация параметров добротности и динамических модулей сдвига мантии

- Численные эксперименты показывают, что для весьма широкого класса функций крипа, определяемых любыми комбинациями степенных, логарифмических и экспоненциальных функций, отношение изменений упругих модулей в диапазоне  $f_1 < f < f_2$  к параметру добротности  $Q(\omega)$  на частоте  $\omega$ , равной среднему геометрическому из  $f_1$  и  $f_2$ , остается почти неизменным (с относительной ошибкой не более 0.01). Поэтому универсальная параметризация во всем диапазоне периодов колебаний от секунды до года достигается заданием в каждом сферическом слое лишь одного параметра  $Q(\omega)$  на частоте  $\omega$ .
- Соответствующие поправки к амплитудам нутаций и приливов, как и к частотам и декрементам затуханий собственных колебаний, определяются интегралами

$$dA_i = \int_b^a f_i(r) \delta \mu(r) dr$$

Функциональные производные от статических чисел Лява  $k, h$ , (1,2), числа Шиды  $I$ , (3) и относительного изменения частоты основного собственного сфероидального колебания (4) по значениям безразмерного модуля сдвига в мантии на разных глубинах для модели PREM 2 ( $r$  – безразмерный радиус, выраженный в долях радиуса Земли).

Рис.1



Функциональные производные от статических чисел Лява  $k, h$  (1,2), числа Шиды  $I$  (3) и относительного изменения частоты основного собственного сфероидального колебания (4) по значениям безразмерного модуля всестороннего сжатия в мантии на разных глубинах для модели PREM 2

Рис.2

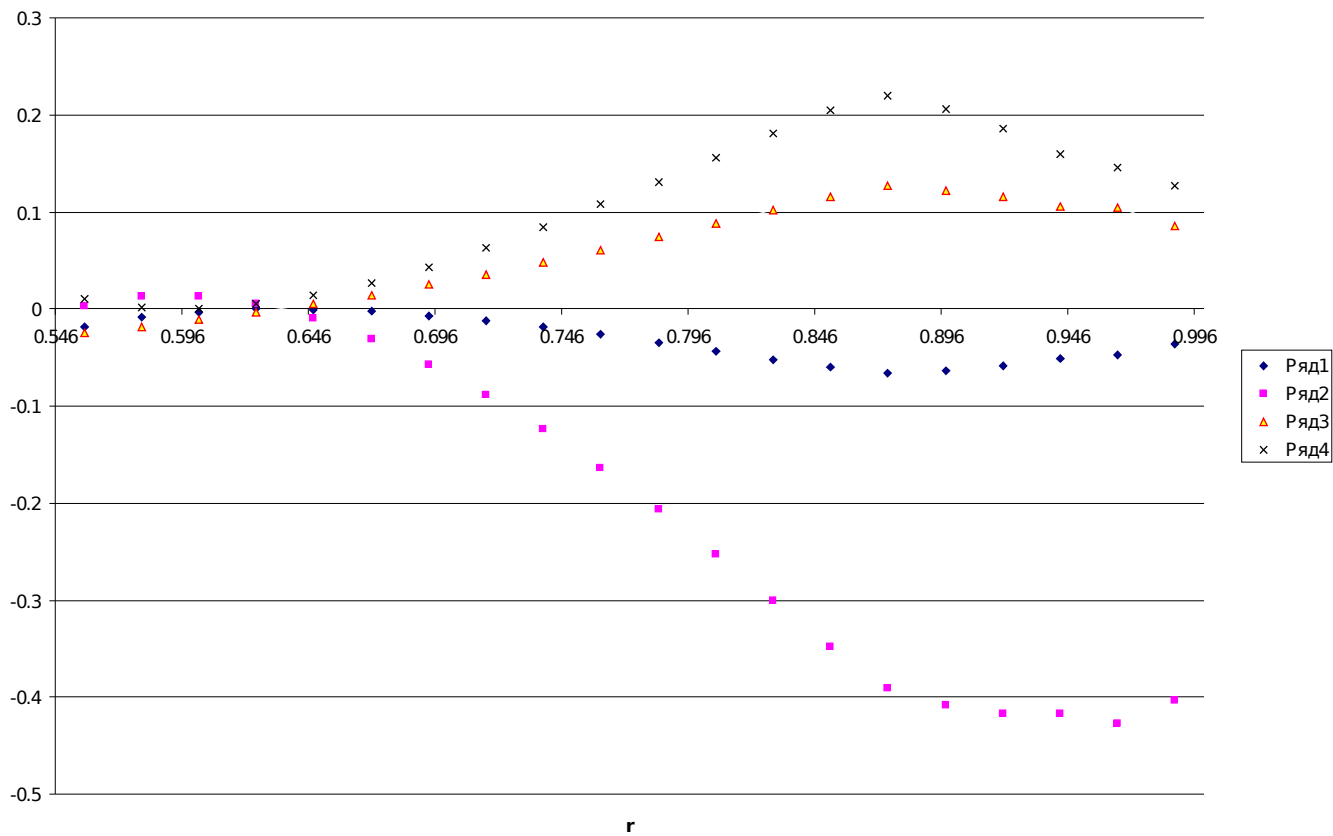
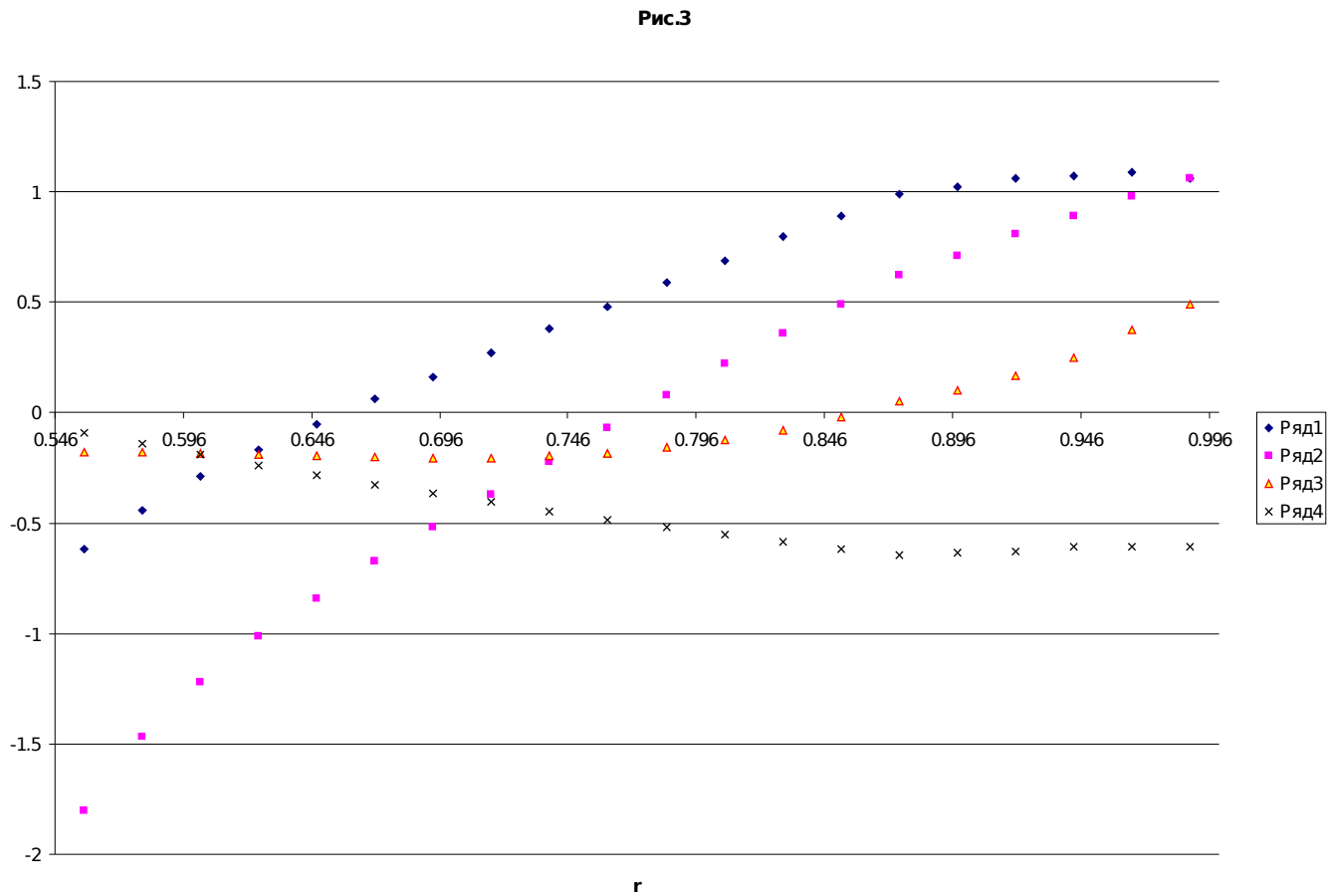
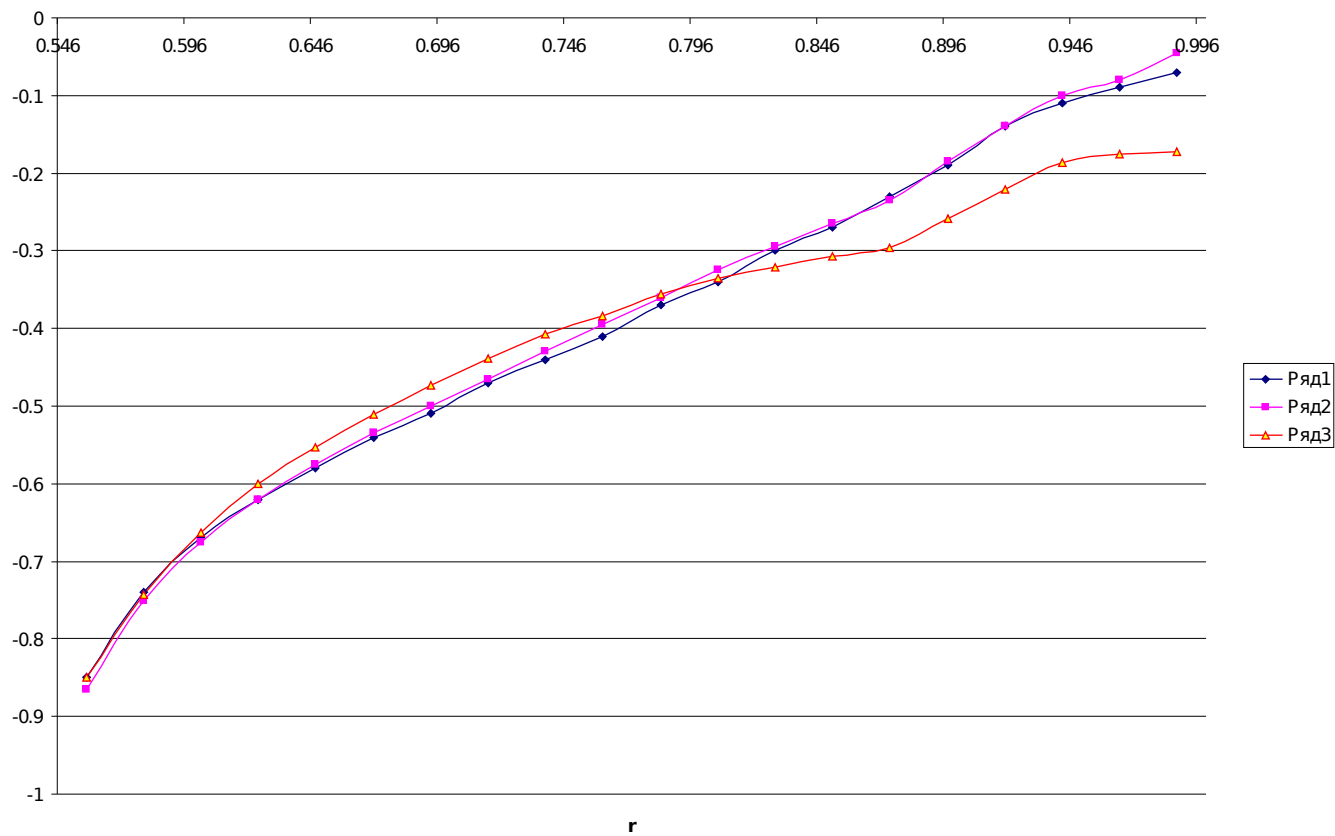


Рис. 3 . Функциональные производные от статических чисел Лява  $k, h$  (1,2), числа Шиды  $l$  (3) и относительного изменения частоты основного собственного сфероидального колебания (4) по значениям безразмерного параметра в мантии на разных глубинах для модели PREM 2 (и -плотность и его малое изменение,  $r$  – безразмерный радиус).



Сравнение нормированных функциональных производных от статического числа Лява  $k$ , домноженного на постоянный нормирующий множитель 0.5 (1), числа Лява  $h$ , домноженного на нормирующий множитель (-0.784) (2) и относительного изменения частоты основного собственного сфероидального колебания по значениям безразмерного модуля сдвига в мантии на разных глубинах (3) для модели PREM 2

Рис.4

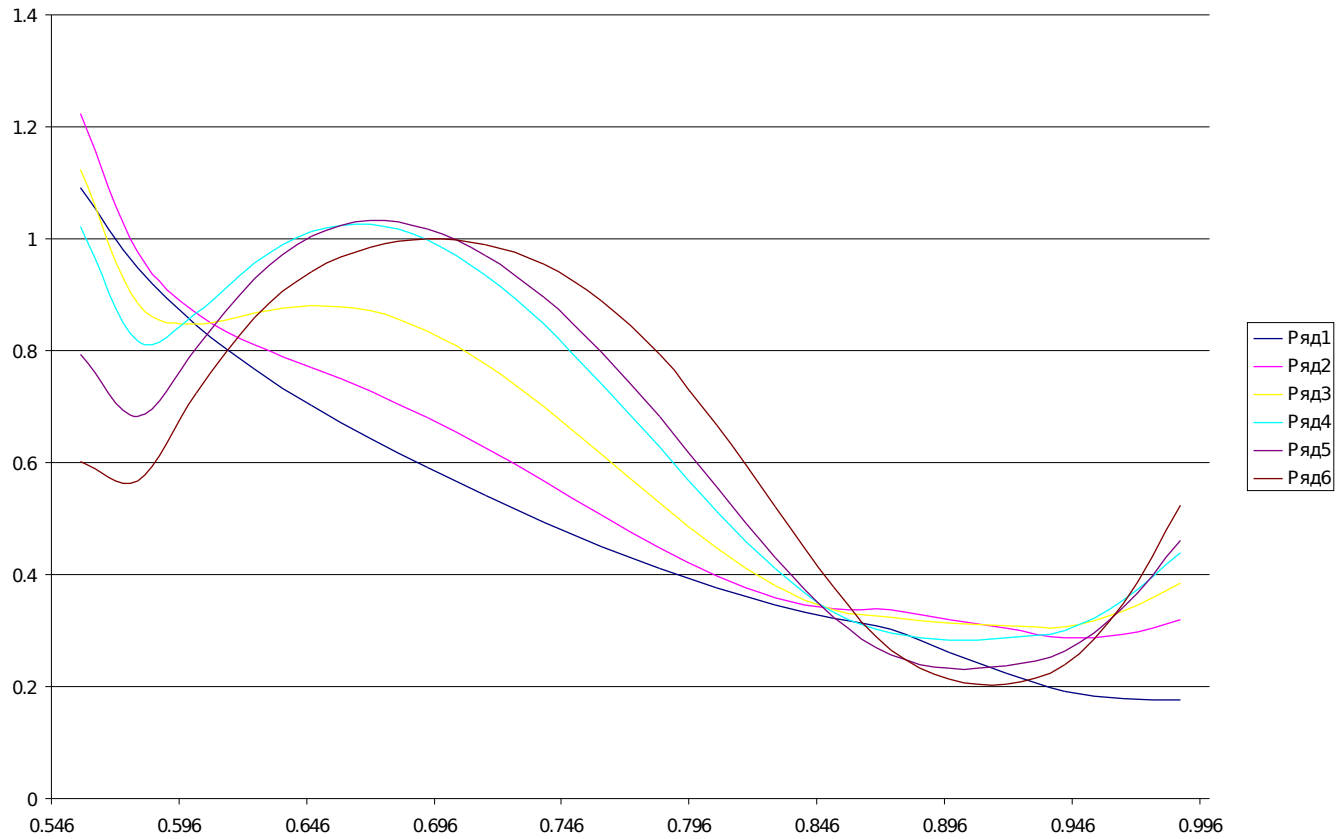


# Сведение двумерной обратной задачи к одномерной

- Из-за близости функциональных производных от чисел Лява и от частоты основного сфероидального колебания по модулю сдвига решение двумерной обратной задачи определения параметров добротности мантии, как функций радиуса и глубины сводится к одномерной задаче определения «усредненных» (с общей весовой функцией, представленной выше) значений добротности, как функции одной только частоты. Это позволяет повысить точность определения функции крипа до 1.5% , тогда как без учета этого обстоятельства она составляет 20% (подробней об этом будет сказано дальше).

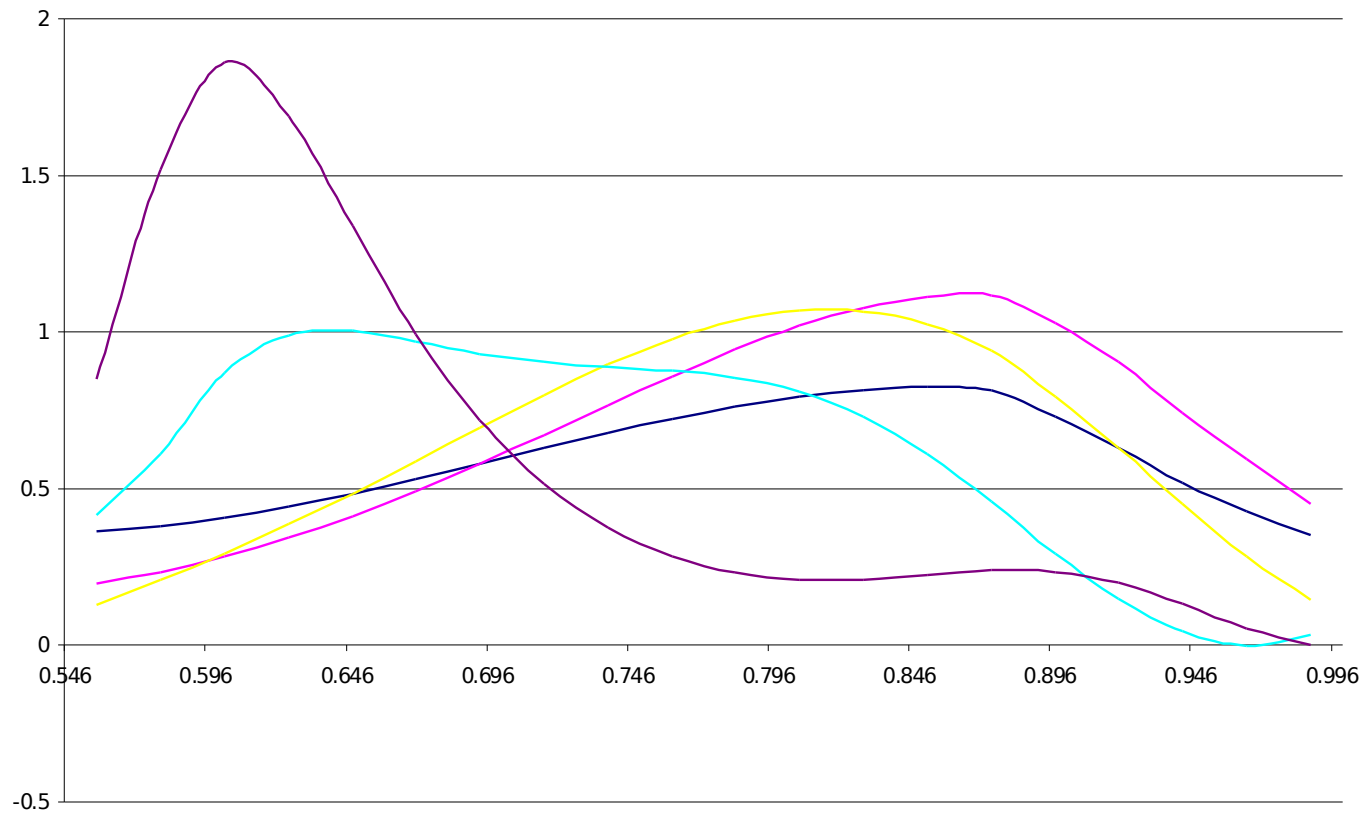
# ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ ОСНОВНЫХ ТОНОВ СФЕРОИДАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПО БЕЗРАЗМЕРНЫМ ВАРИАЦИЯМ МОДУЛЯ СВИГА ДЛЯ МОДЕЛИ PREM2

$n=2,3,5,7,8,12$  основной тон



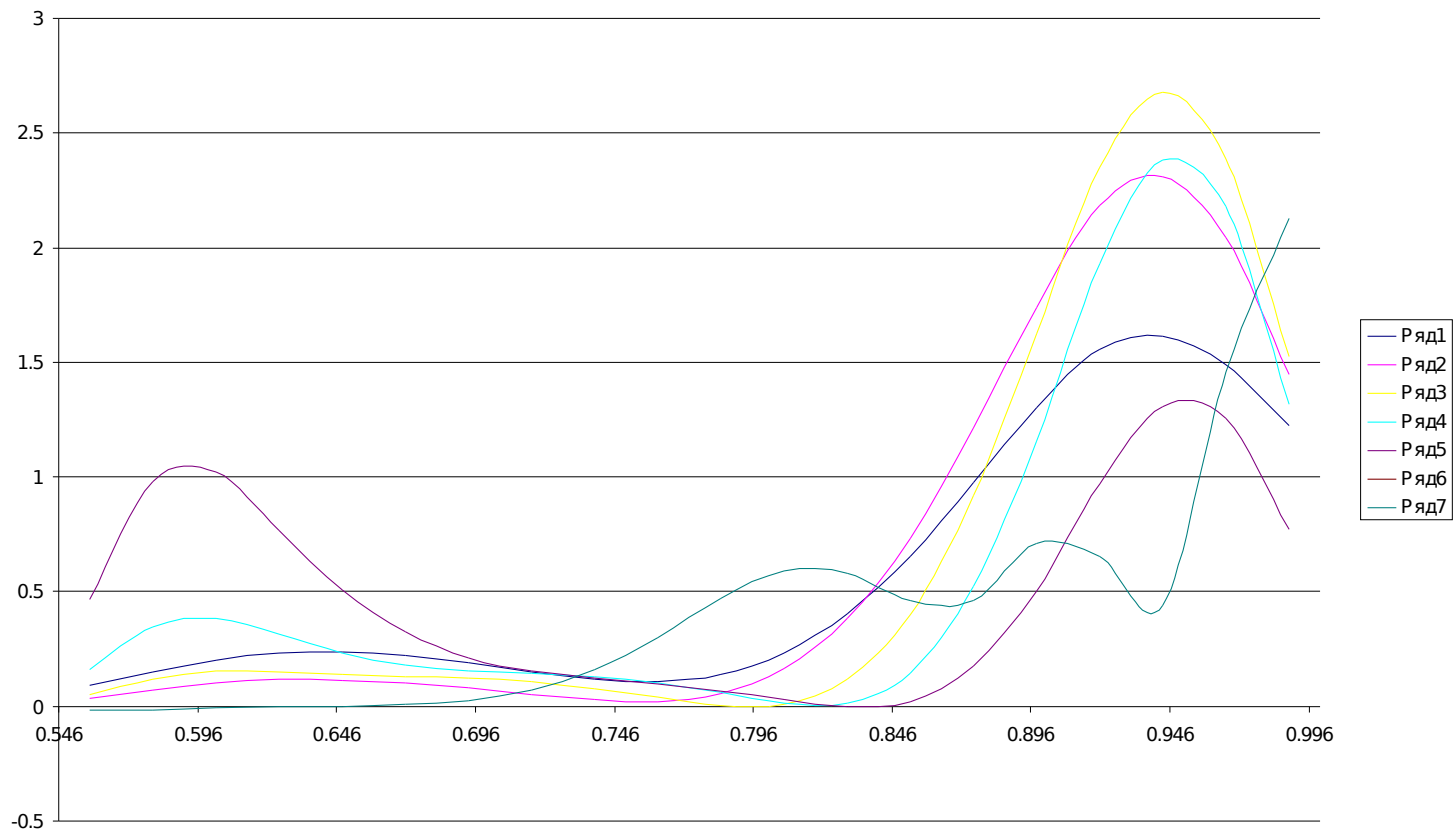
# ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ ПЕРВЫХ ОБЕРТОНОВ СФЕРОИДАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПО БЕЗРАЗМЕРНЫМ ВАРИАЦИЯМ МОДУЛЯ СВИГА ДЛЯ МОДЕЛИ PREM2

**n=2,3,5,8,12 первый обертон**



# ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ ВТОРЫХ ОБЕРТОНОВ СФЕРОИДАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПО БЕЗРАЗМЕРНЫМ ВАРИАЦИЯМ МОДУЛЯ СВИГА ДЛЯ МОДЕЛИ PREM2

**n=6,9,12,14,15,31 второй обертон**

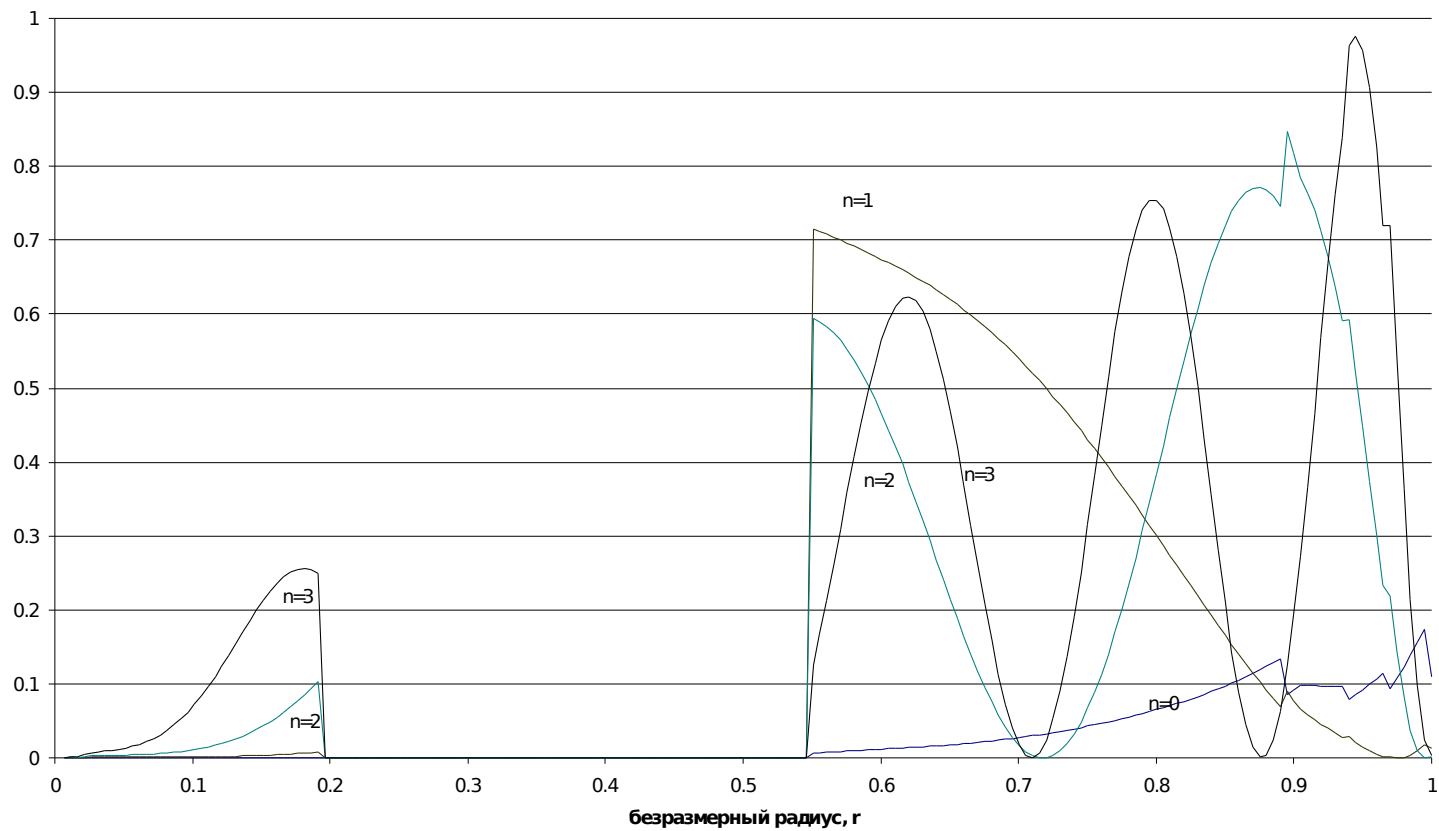


## Обертоны радиальных колебаний

- Из-за очень малого затухания периоды радиального колебания и его обертонов определяются с относительной ошибкой в 10-30 раз меньшей ошибок определения всех других колебаний.
- **До настоящего времени это обстоятельство не принималось во внимание (для моделей PREM невязки частот радиальных колебаний – того же порядка, как и невязки для всех остальных колебаний).**
- Тонкую структуру самых глубоких слоев Земли (включая жидкое и твердое ядро) прежде всего можно определить на основе анализа данных об амплитудах основной нутации (относительные ошибки наблюдений  $\sim 2 \cdot 10^{-6}$ ) и радиальных колебаний  $\sim (3-6) \cdot 10^{-5}$ ) По этой причине решение обратной задачи естественно начать с анализа этих данных.

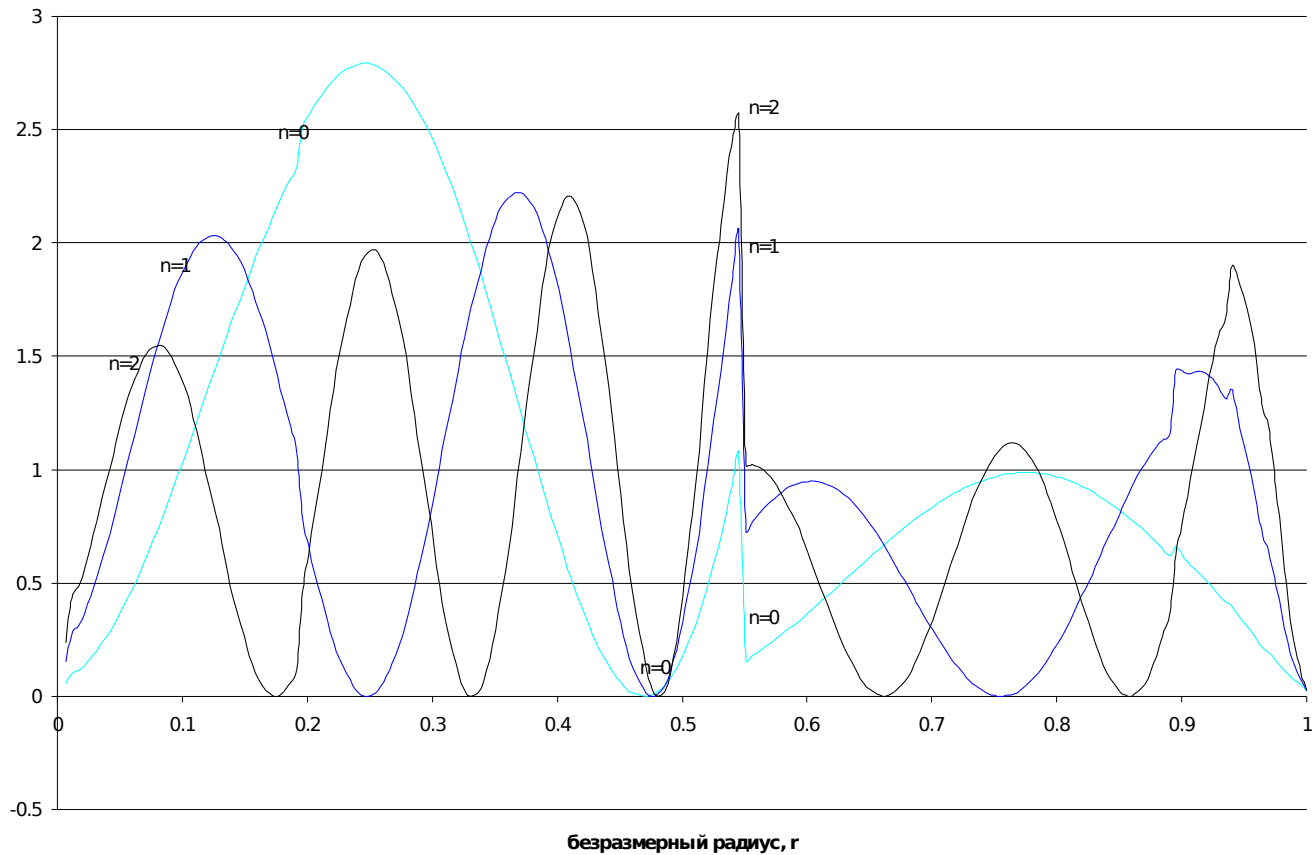
# Плотность энергии сдвига для основного тона и обертонов радиальных колебаний

Рис. 6



# Плотность энергии всестороннего сжатия для основного тона и обертонов радиальных колебаний

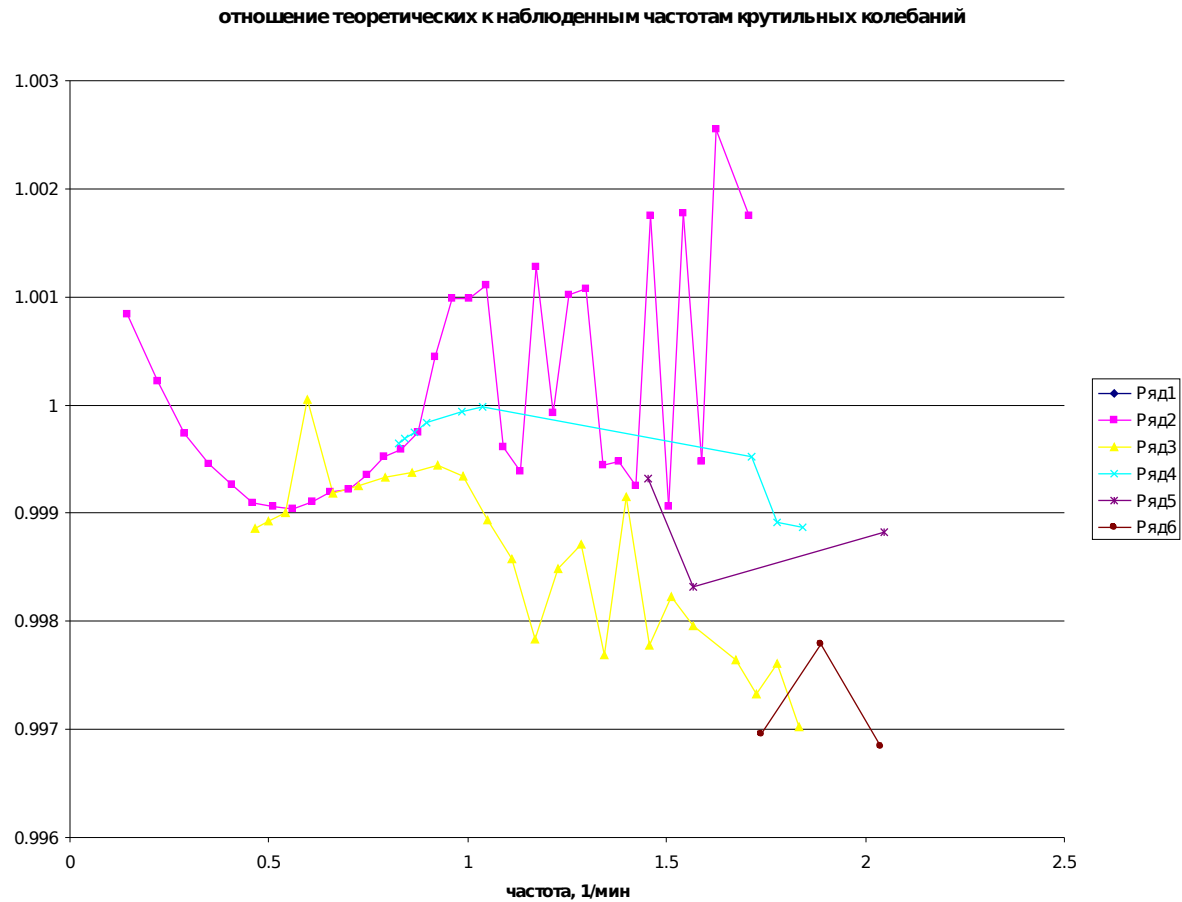
Рис. 7



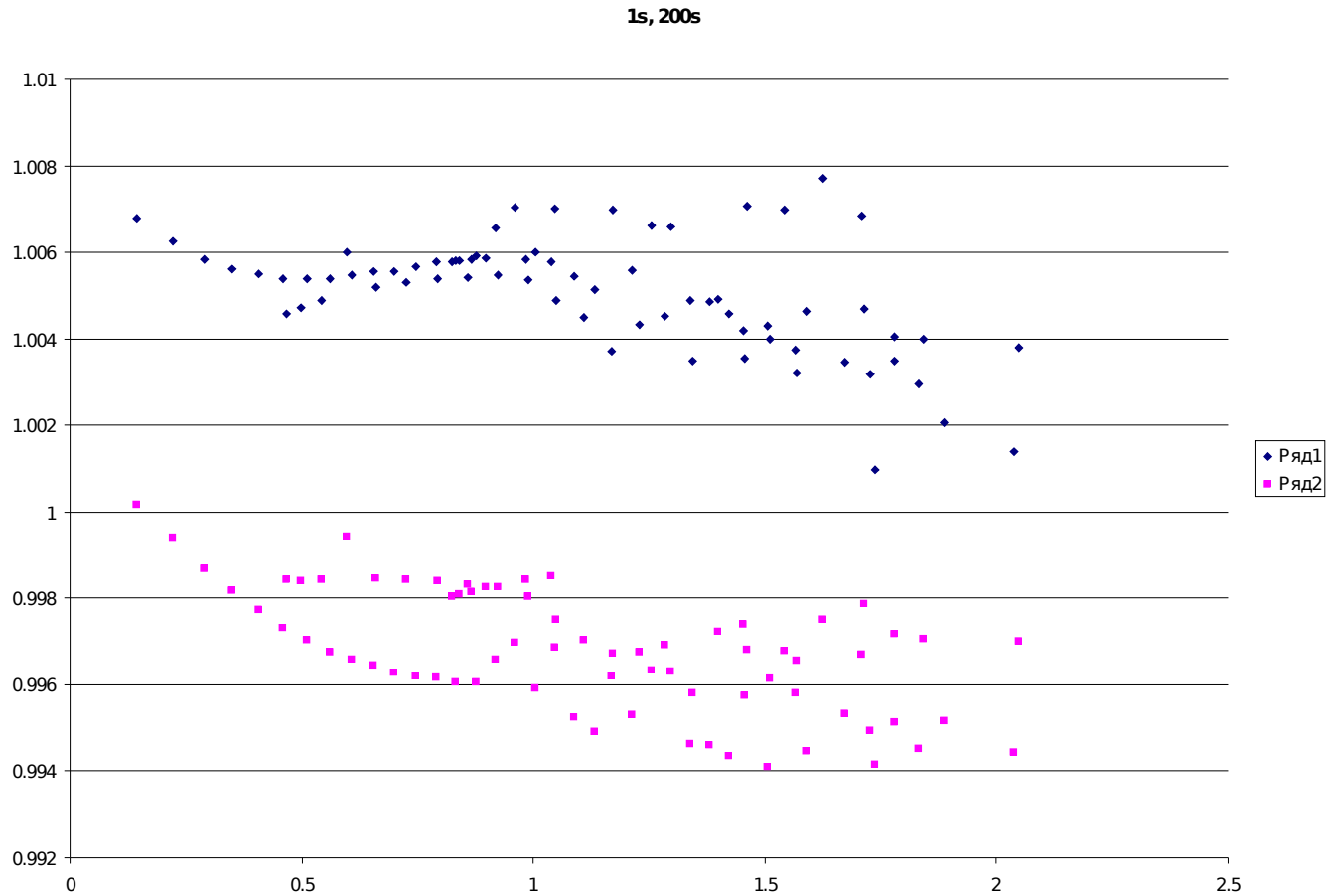
## **Функциональные производные частот радиальных колебаний и амплитуд основной нутации по распределениям плотности и модулей упругости в ядре и нижней мантии «почти ортогональны»**

- По этой причине количество итераций, необходимых при использовании метода градиентного спуска (в пространстве пяти независимо варьируемых параметров, определяющих профили скоростей продольных волн и реологии), уменьшается с 50-60 до 3-4.
- Вносимые на этом этапе коррективы в схему строения Земли столь малы, что практически никак не ощущаются ни при анализе сейсмических данных, ни при анализе данных о «малых» компонентах нутации, приливных данных и данных о частотах нерадиальных колебаний

# Отношение теоретических частот крутильных колебаний к наблюдаемым для модели PREM 200с

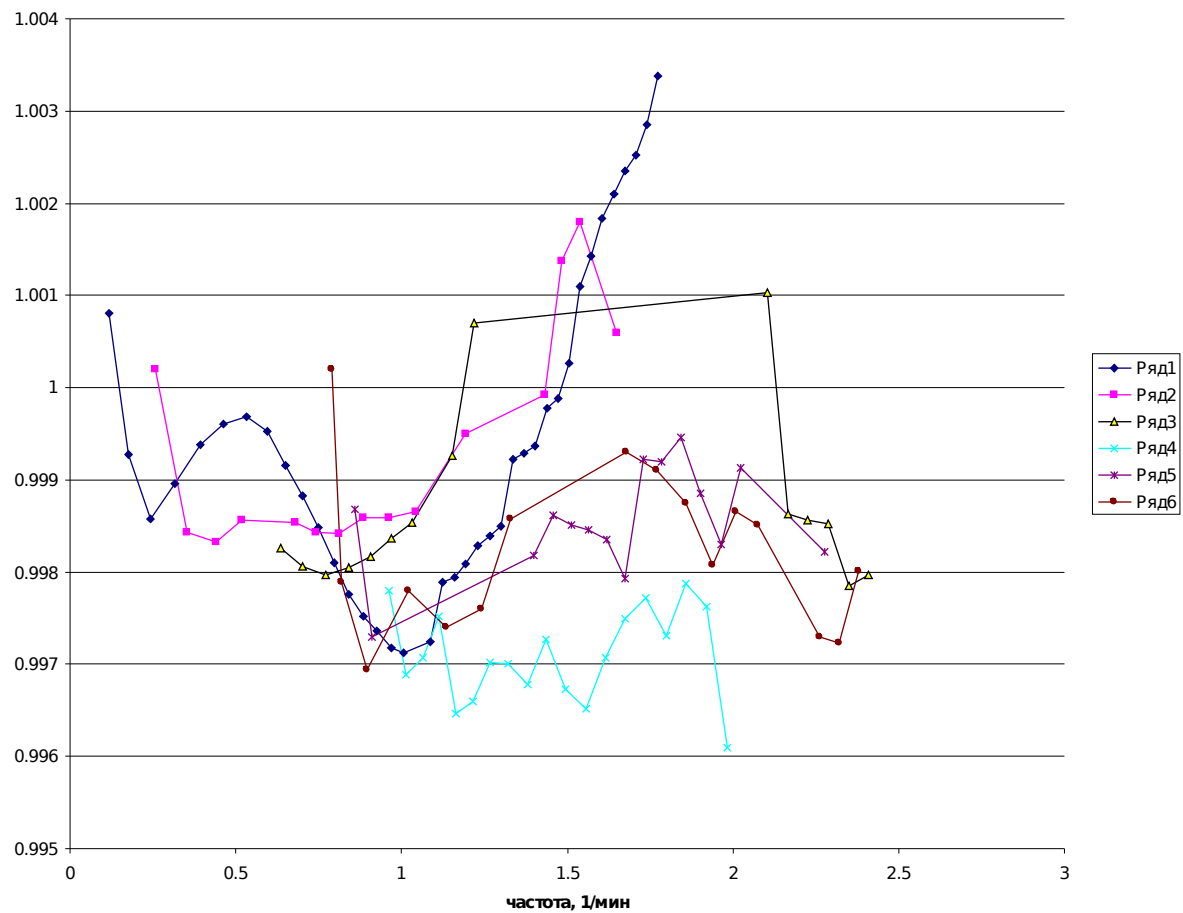


# Отношение теоретических частот крутильных колебаний к наблюдаемым для моделей PREM 1с и PREM200с

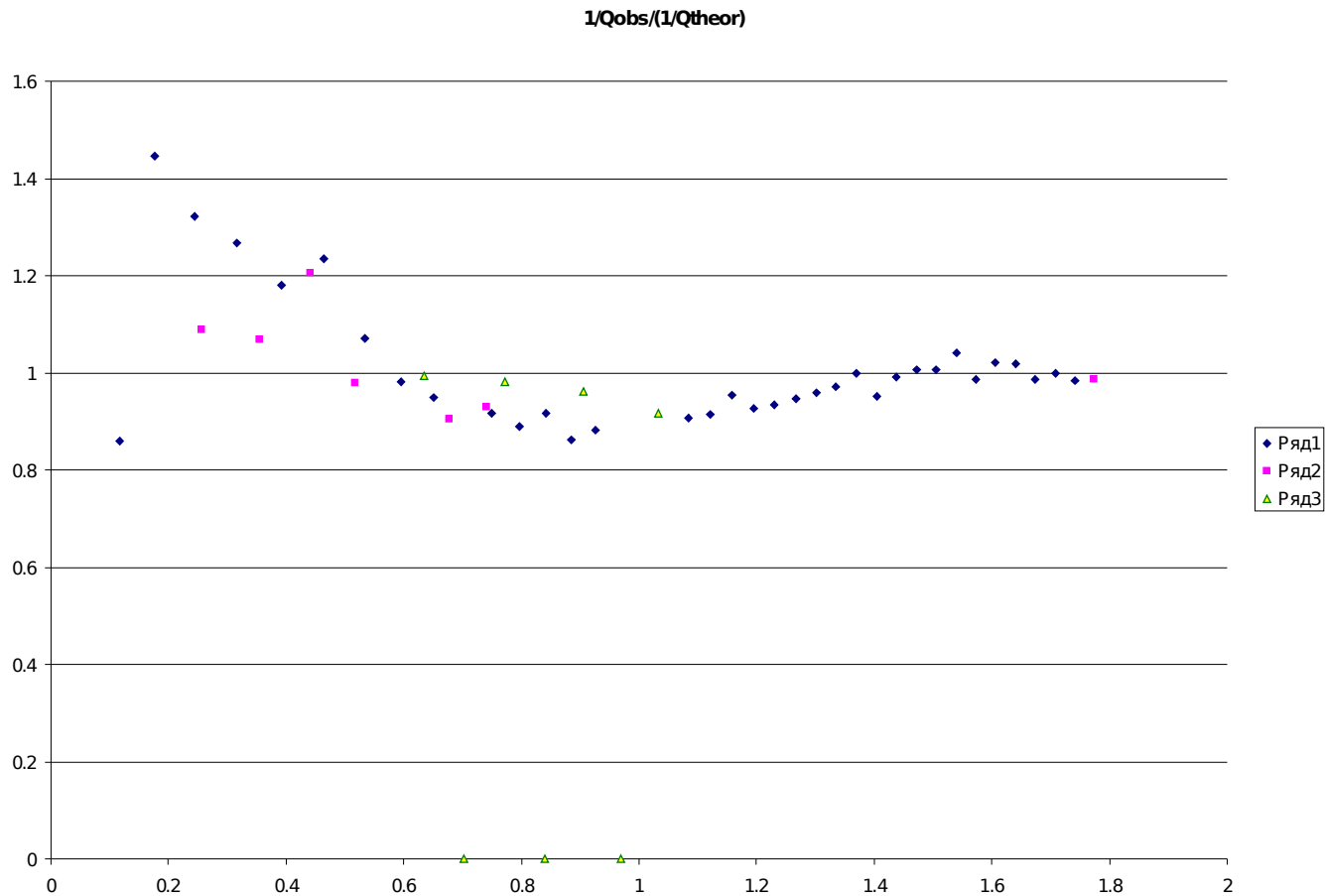




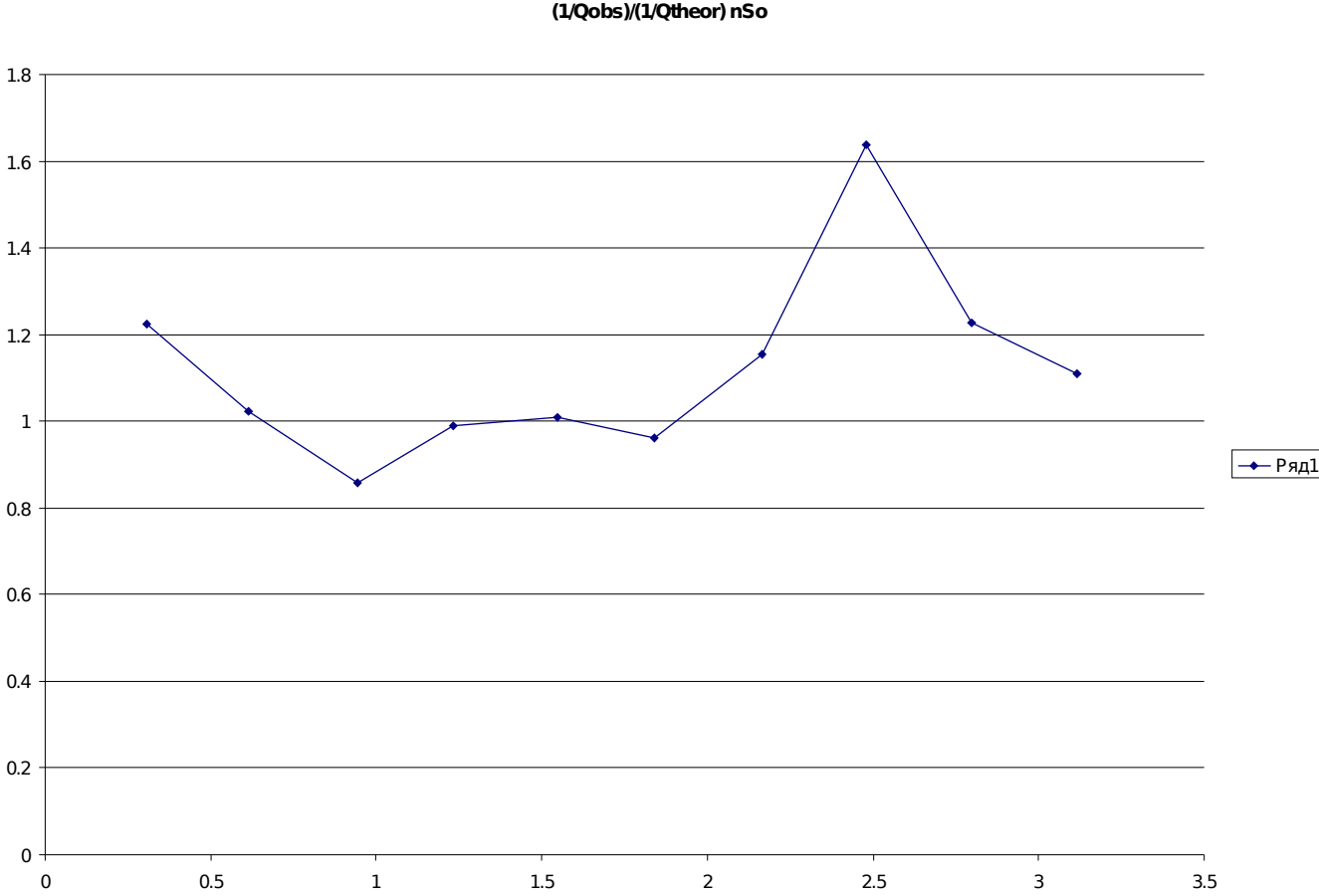
# Отношение теоретических частот сфероидальных колебаний к наблюдаемым для модели PREM 200с



# ОТНОШЕНИЕ НАБЛЮДЕННЫХ ДЕКРЕМЕНТОВ ЗАТУХАНИЙ СФЕРОИДАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ К ТЕОРЕТИЧЕСКИМ ДЛЯ ОСНОВНОГО ТОНА И ТРЕХ ПЕРВЫХ ОБЕРТОНОВ СФЕРОИДАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ МОДЕЛИ PREM 200c

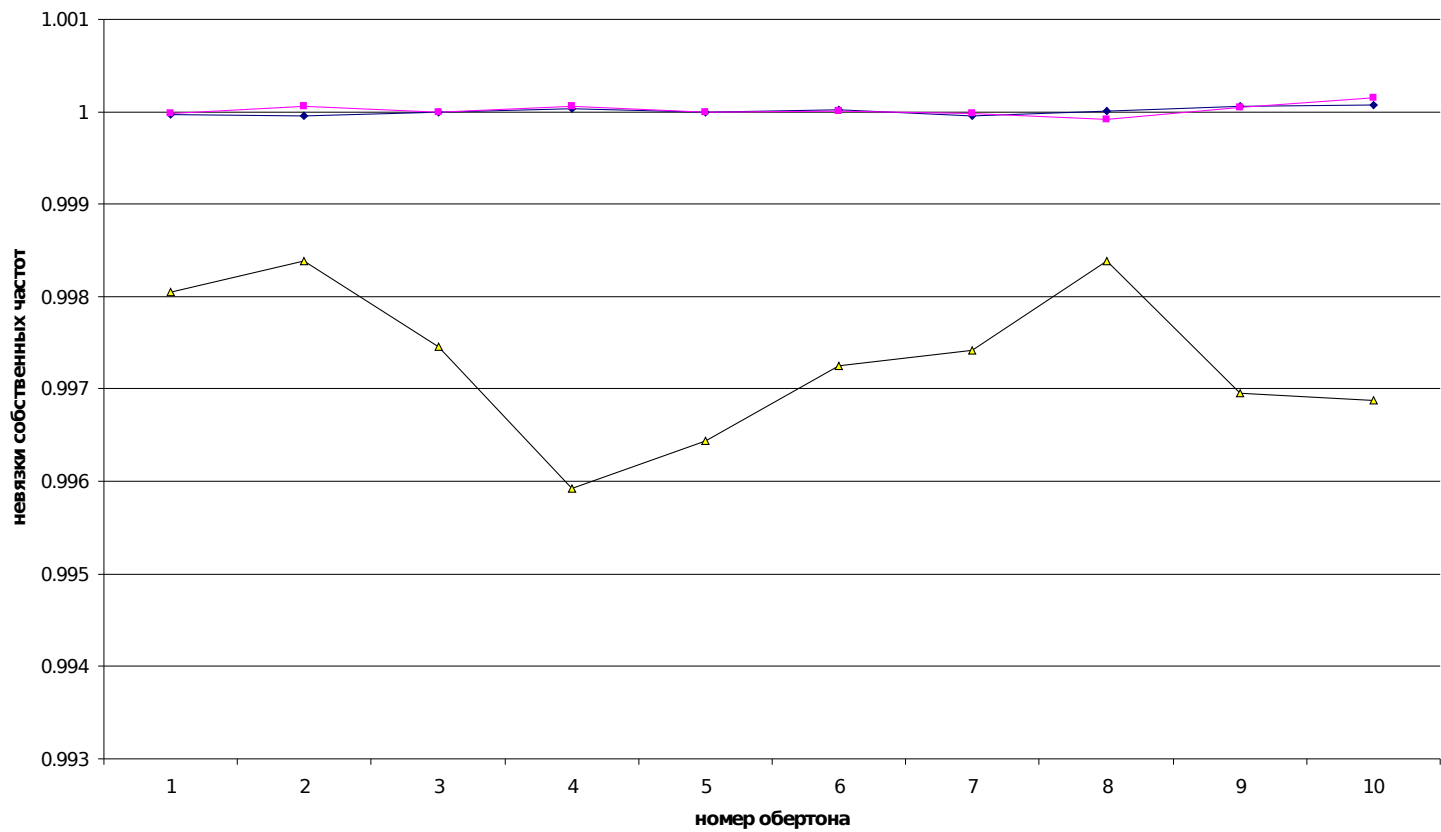


# ОТНОШЕНИЕ НАБЛЮДЕННЫХ ДЕКРЕМЕНТОВ ЗАТУХАНИЙ РАДИАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ К ТЕОРЕТИЧЕСКИМ ДЛЯ МОДЕЛИ PREM 200c



# Относительные невязки собственных частот основного тона и обертонов радиальных колебаний до и после применения процедуры градиентного спуска

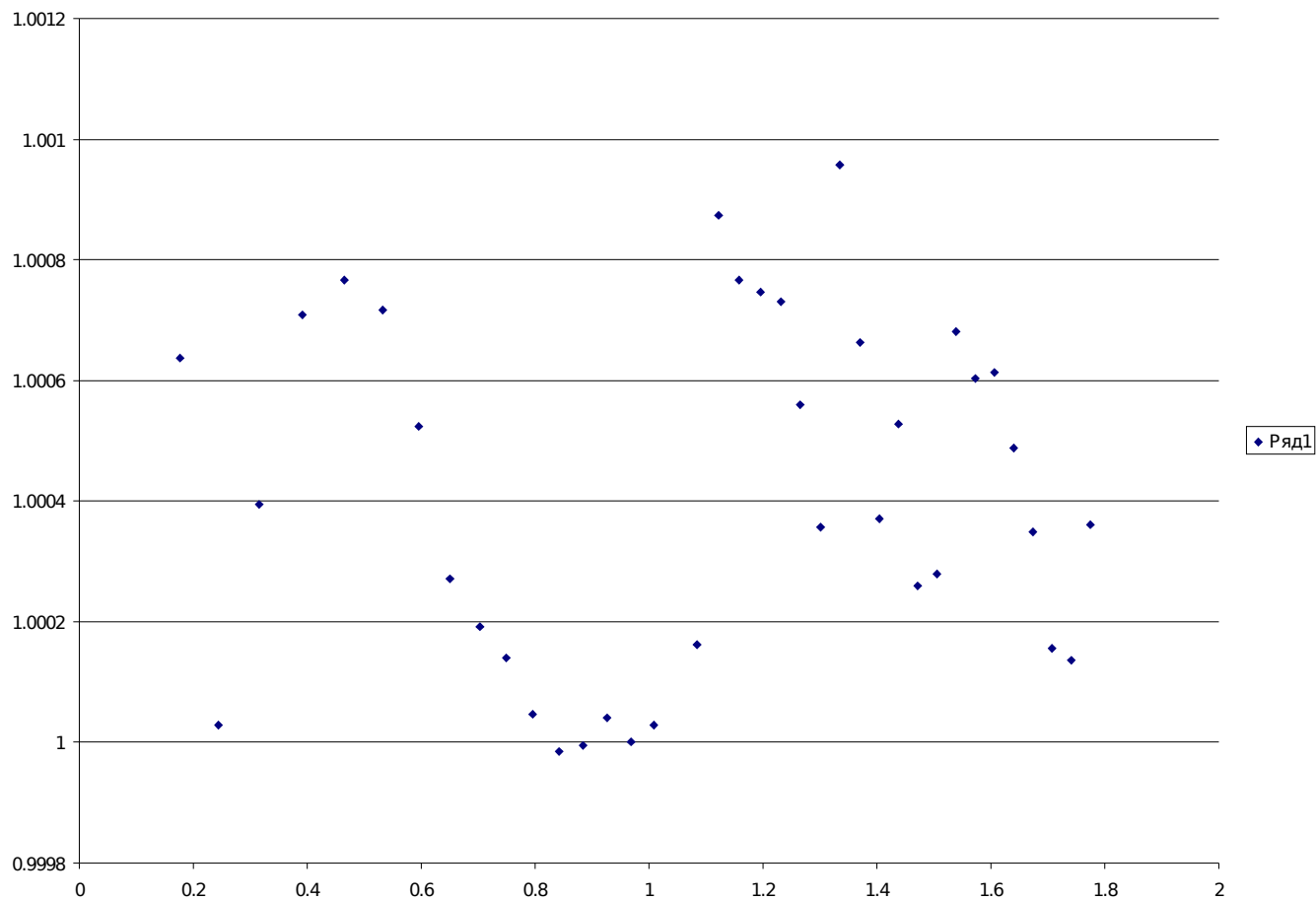
Рис.8



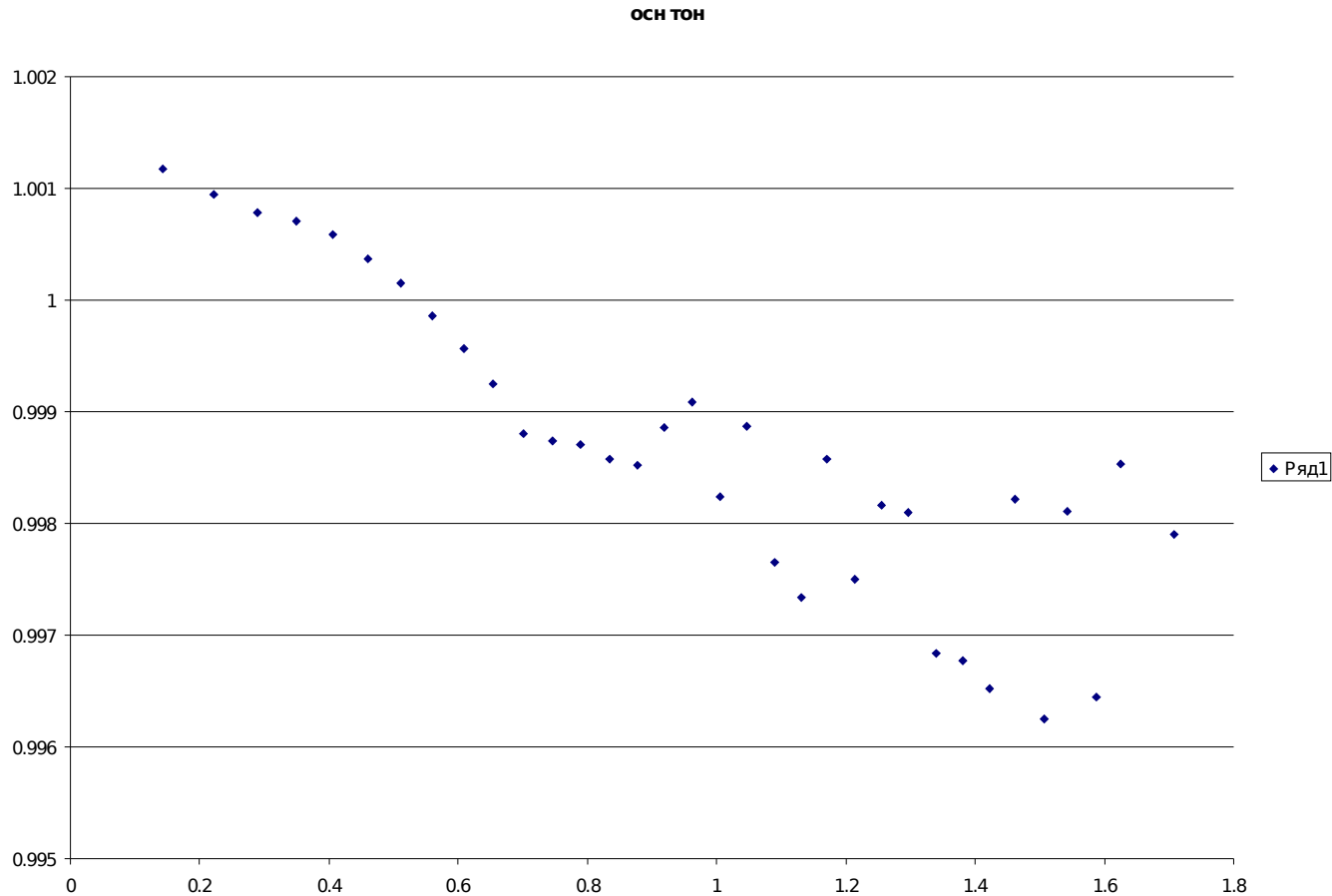
# Важное замечание

- Уменьшение **всех** невязок частот обертонов радиального колебания в 12 раз было бы невозможным, если бы эти невязки были случайны (количество условий на искомые вариации параметров значительно больше количества степеней свободы). Это значит, что реальная точность определения частот радиальных колебаний на порядок выше точности определения всех остальных собственных частот.

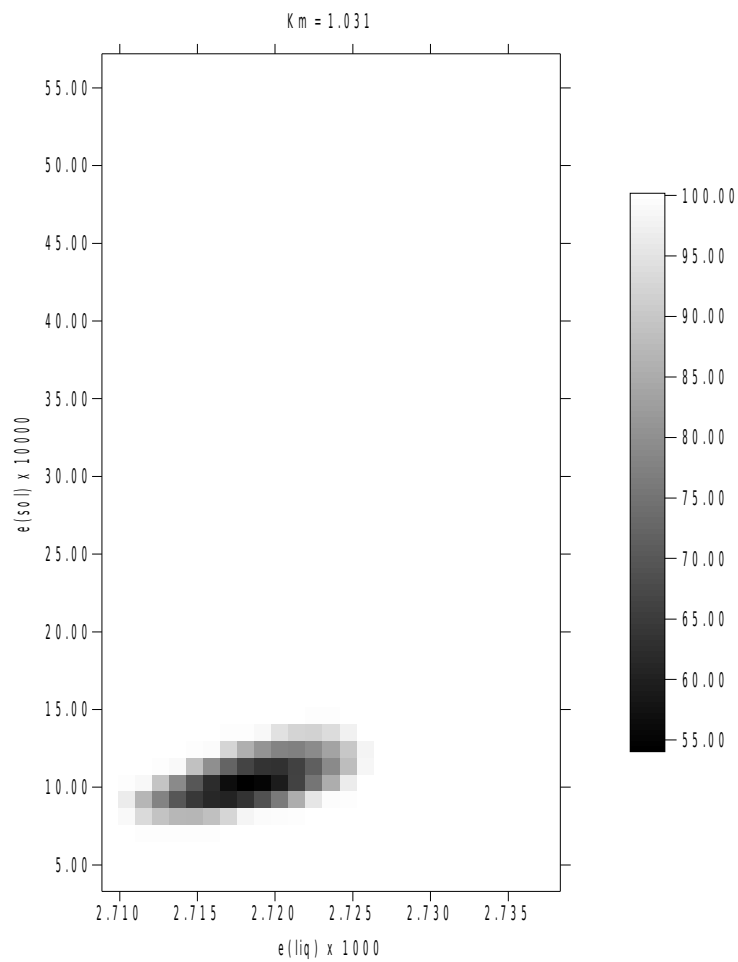
РЕЗУЛЬТАТЫ МИНИМИЗАЦИИ НЕВЯЗОК МЕЖДУ НАБЛЮДЕННЫМИ И ТЕОРЕТИЧЕСКИМИ  
ДАНЫМИ О ПРИЛИВАХ, НУТАЦИИ И СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЯХ МЕТОДОМ  
ГРАДИЕНТНОГО СПУСКА. НЕВЯЗКИ ЧАСТОТ ОСНОВНОГО ТОНА СФЕРОИДАЛЬНЫХ  
КОЛЕБАНИЙ



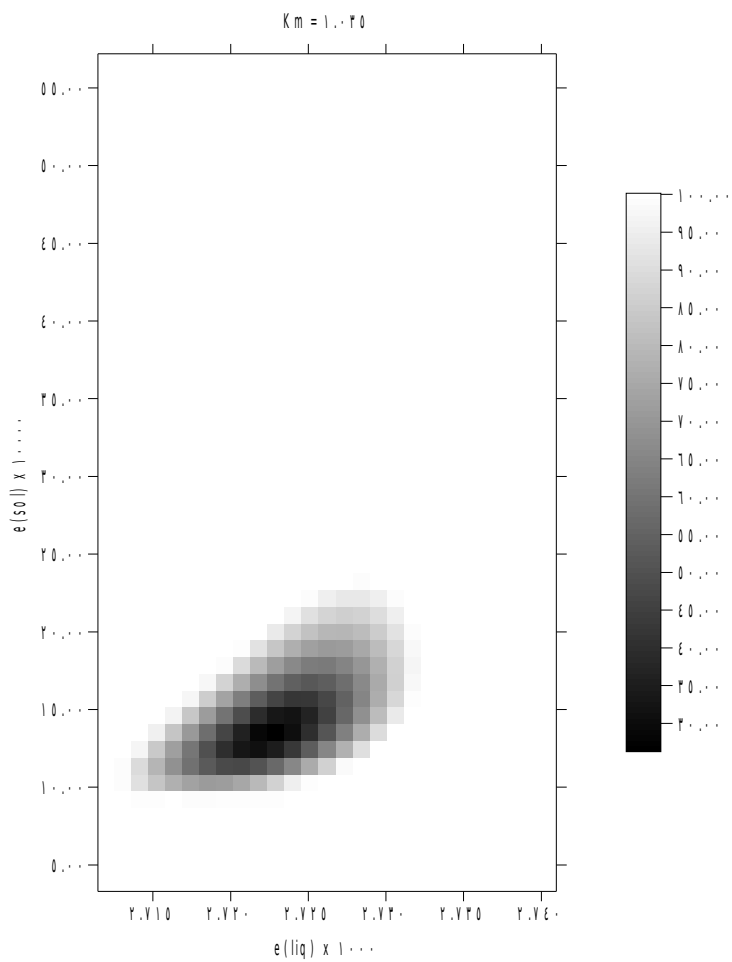
# РЕЗУЛЬТАТЫ МИНИМИЗАЦИИ НЕВЯЗОК МЕЖДУ НАБЛЮДЕННЫМИ И ТЕОРЕТИЧЕСКИМИ ДАННЫМИ О ПРИЛИВАХ, НУТАЦИИ И СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЯХ МЕТОДОМ ГРАДИЕНТНОГО СПУСКА. НЕВЯЗКИ ЧАСТОТ ОСНОВНОГО ТОНА КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ



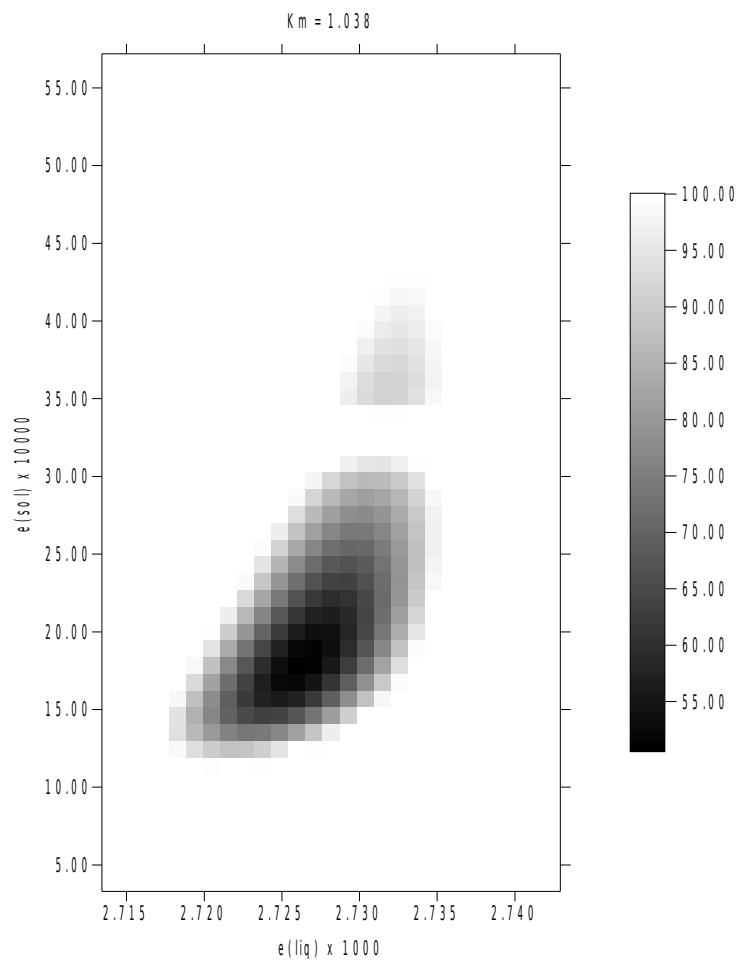
# СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКИЕ ОТКЛОНЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ АМПЛИТУД ВЫНУЖДЕННОЙ НУТАЦИИ ОТ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ



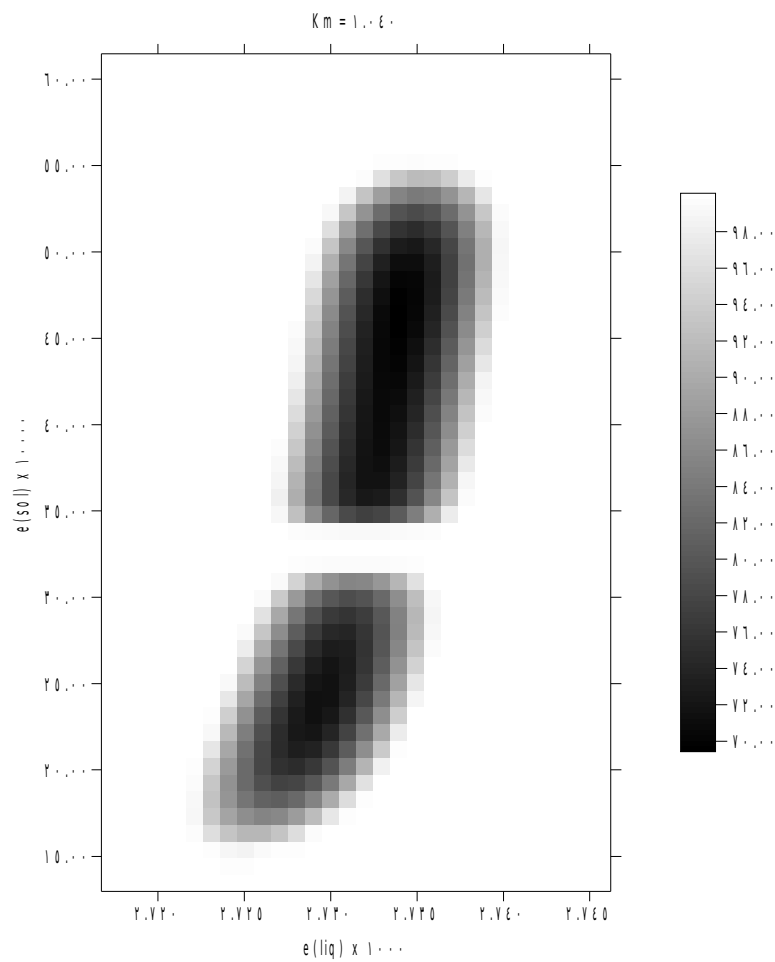
# СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКИЕ ОТКЛОНЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ АМПЛИТУД ВЫНУЖДЕННОЙ НУТАЦИИ ОТ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ



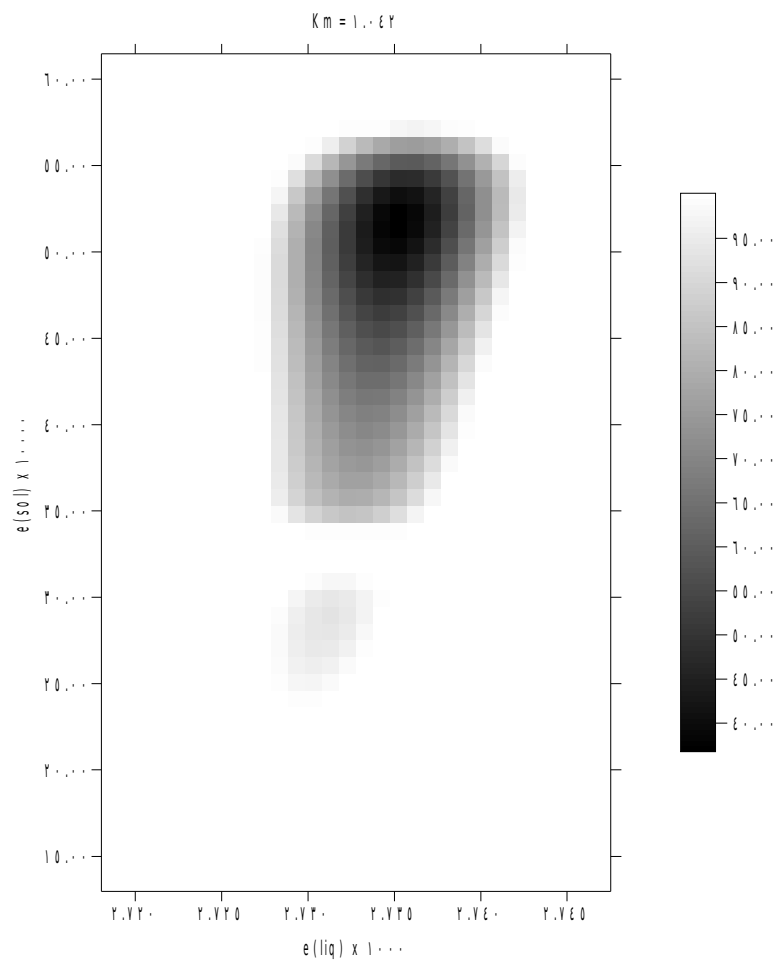
# СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКИЕ ОТКЛОНЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ АМПЛИТУД ВЫНУЖДЕННОЙ НУТАЦИИ ОТ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ



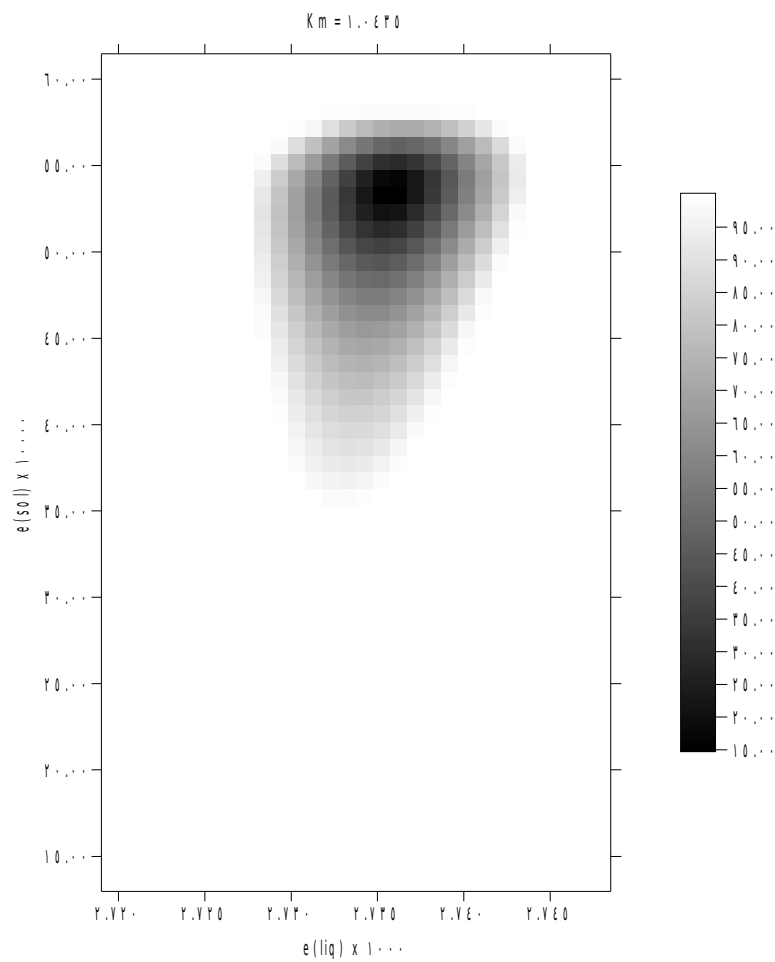
# СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКИЕ ОТКЛОНЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ АМПЛИТУД ВЫНУЖДЕННОЙ НУТАЦИИ ОТ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ



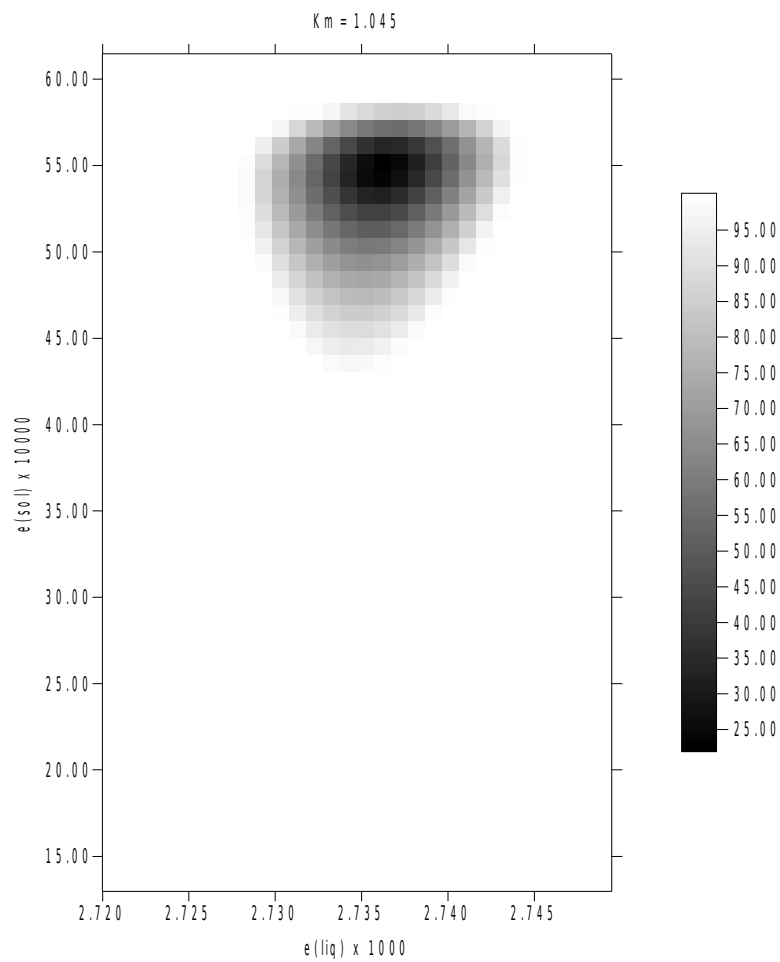
# СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКИЕ ОТКЛОНЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ АМПЛИТУД ВЫНУЖДЕННОЙ НУТАЦИИ ОТ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ



# СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКИЕ ОТКЛОНЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ АМПЛИТУД ВЫНУЖДЕННОЙ НУТАЦИИ ОТ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ



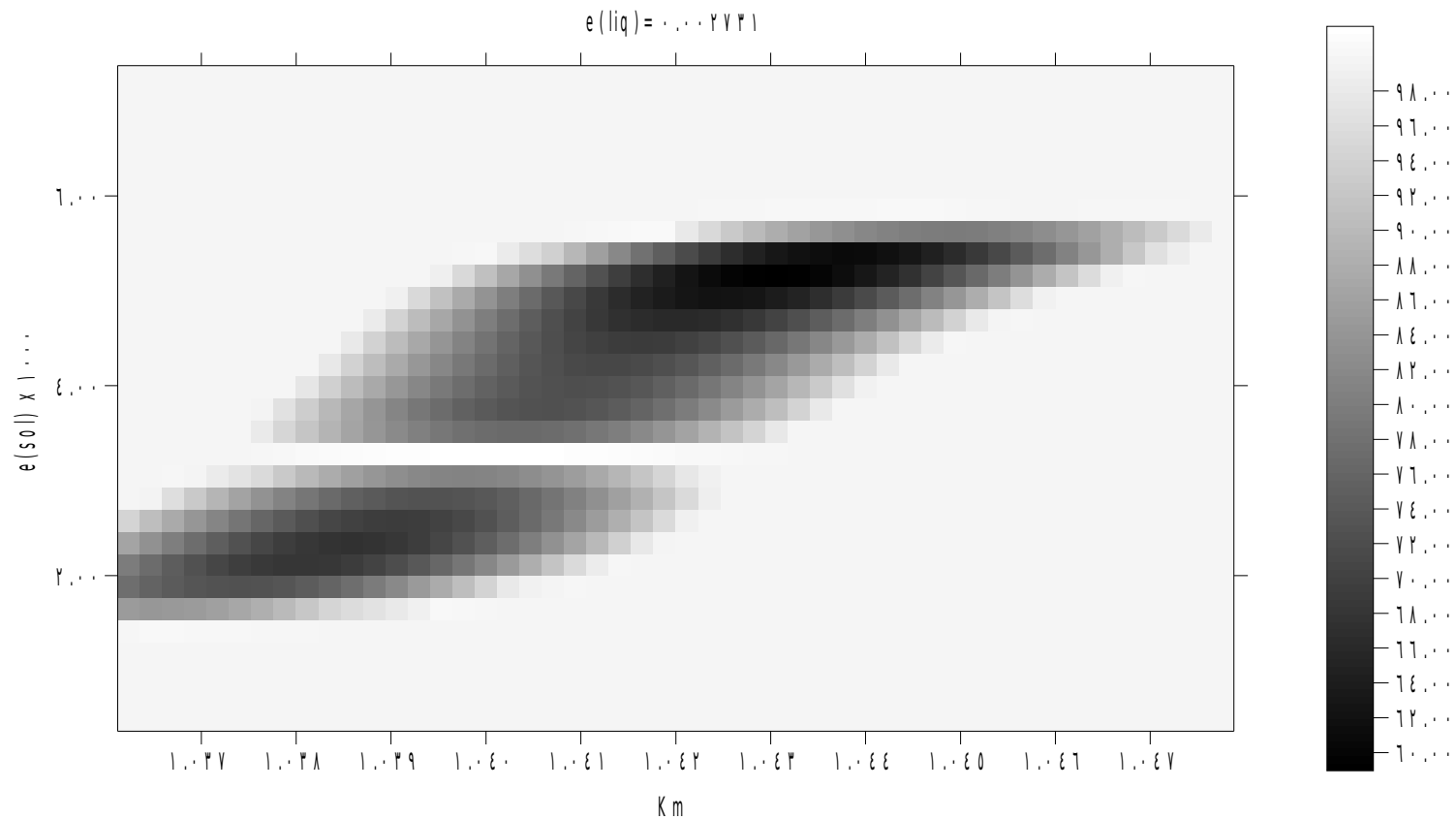
# СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКИЕ ОТКЛОНЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ АМПЛИТУД ВЫНУЖДЕННОЙ НУТАЦИИ ОТ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ



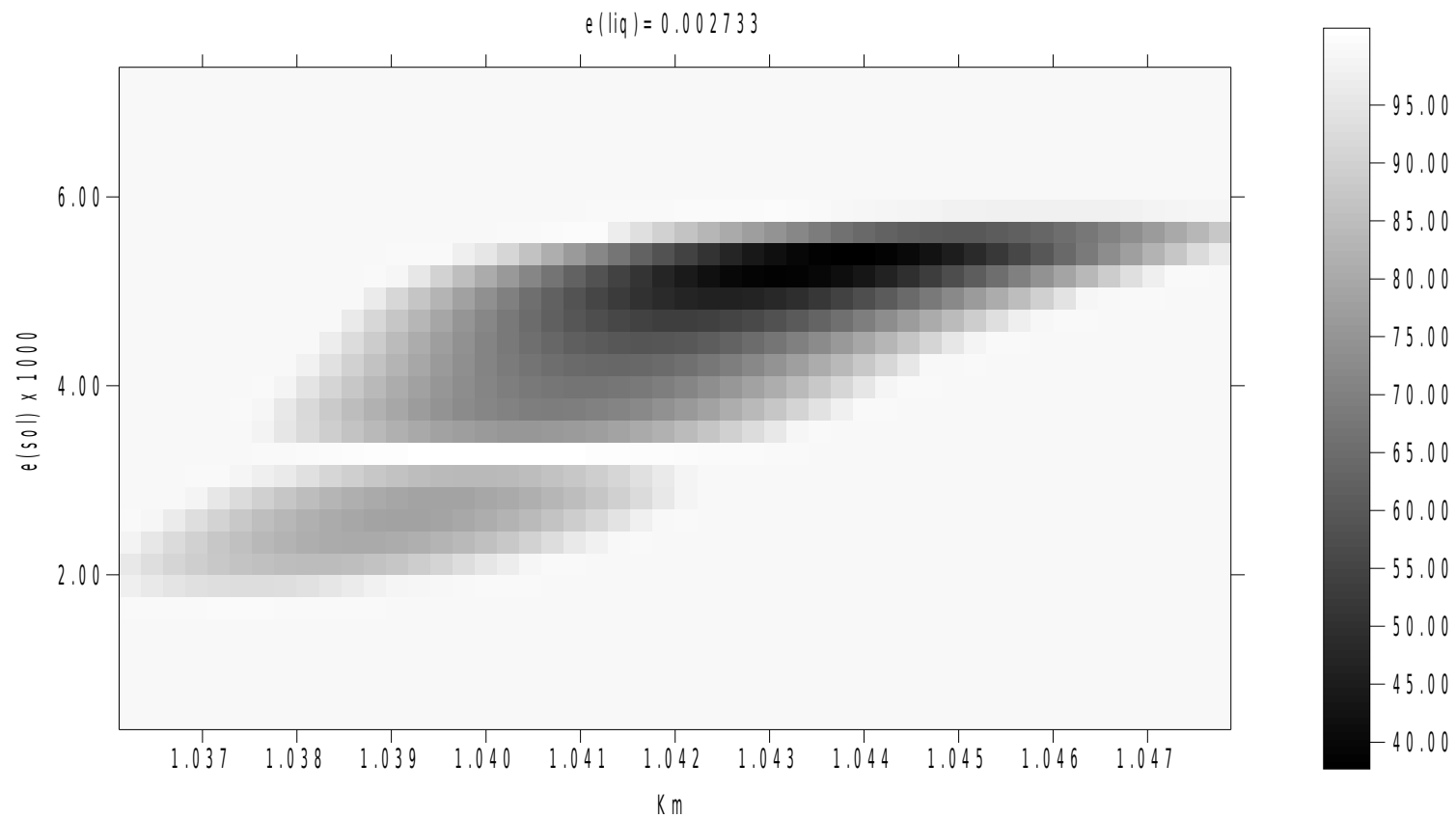
## Сравнение точности определения поправок за динамический модуль по данным о нутации и о собственных колебаниях

- Нутация , диапазон периодов колебаний от 200 с до 24 ч,  $K_m = 1.042 - 1.045$  (относительная точность  $\sim 1.5\%$ )
- Собственные колебания, диапазон периодов от 1 с до 53.8 мин –  $K_m = 1.03 - 1.05$  (относительная точность  $\sim 20\%$ )

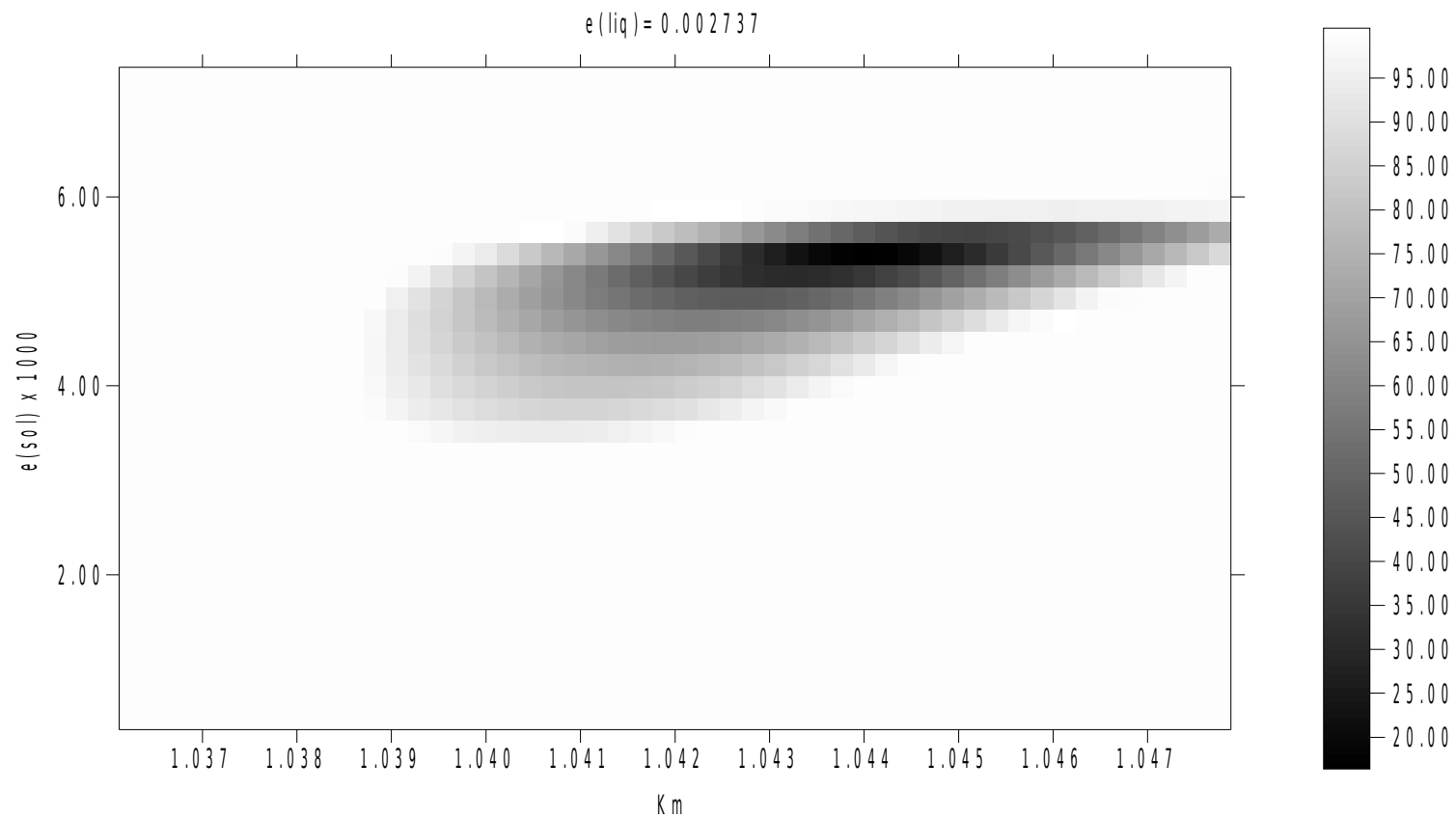
# СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКИЕ ОТКЛОНЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ АМПЛИТУД ВЫНУЖДЕННОЙ КОЛЕСА ОТ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ



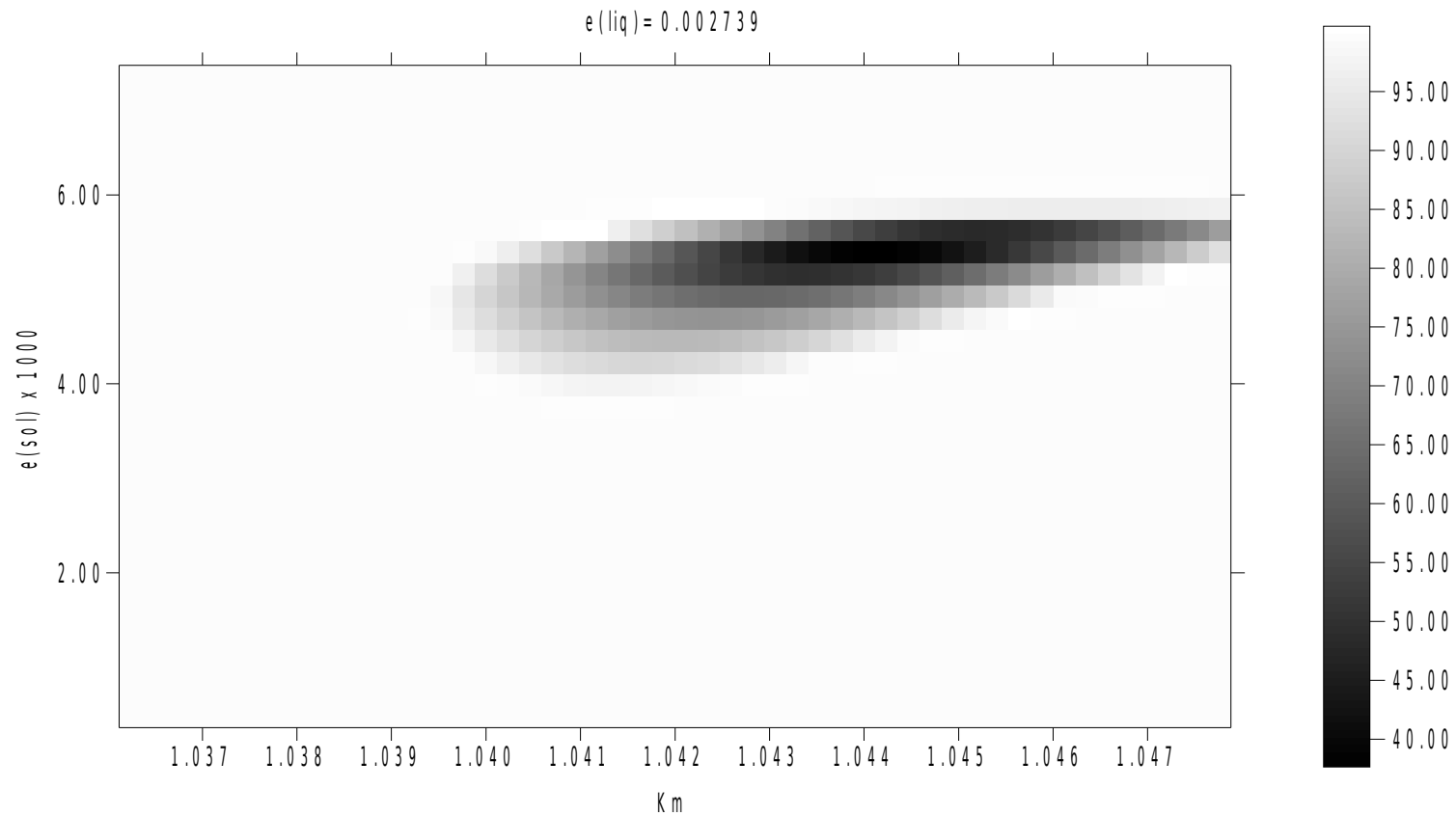
# СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКИЕ ОТКЛОНЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ АМПЛИТУД ВЫНУЖДЕННОЙ НУТАЦИИ ОТ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ



# СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКИЕ ОТКЛОНЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ АМПЛИТУД ВЫНУЖДЕННОЙ КОЛЬБАНИЯ ОТ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ



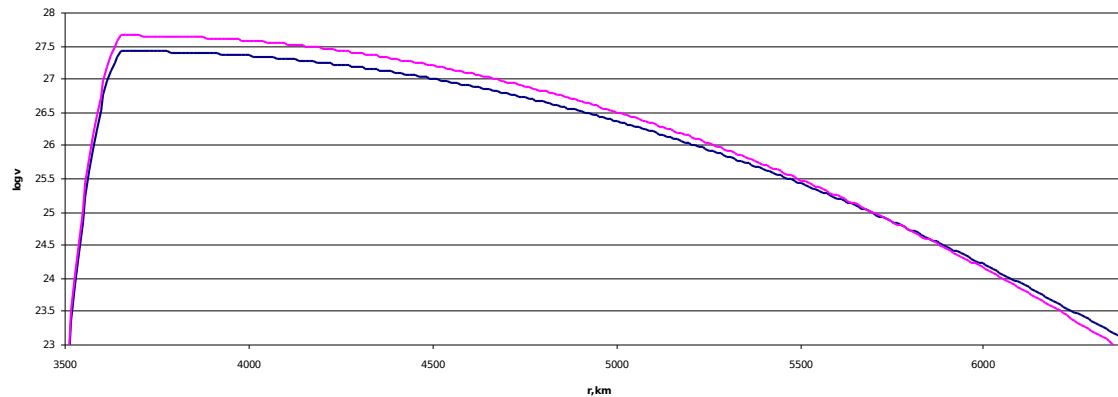
# СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКИЕ ОТКЛОНЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ АМПЛИТУД ВЫНУЖДЕННОЙ НУТАЦИИ ОТ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ



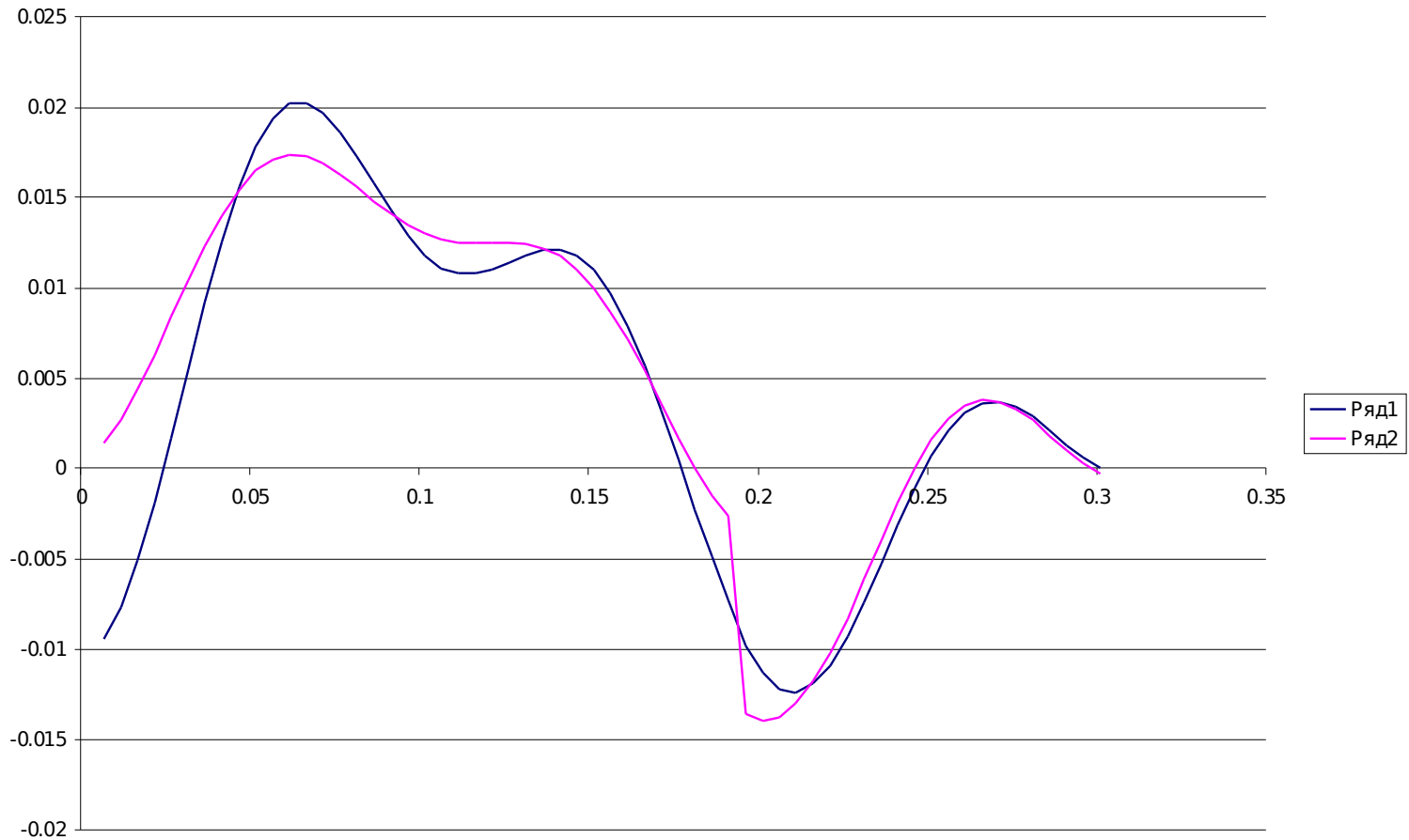
# Эффективное динамическое сжатие жидкого ядра и твердого ядра; верхний предел вязкости жидкого ядра

- $\text{Re } e(\text{liq}) = 0.002737$
- $\pm 0.000002$
- $\text{Re } e(\text{sol}) = 0.0055$
- $\pm 0.0003$
- $\text{Im } e(\text{sol}) < 10^{-2} \quad v_{l-s} < 5 \cdot 10^6 \text{ Poise}$
- $\text{Im } e(\text{liq}) < 3 \cdot 10^{-6} \quad v_{c-m} < 2 \cdot 10^3 \text{ Poise}$
- «Эффективное сжатие» - комплексная величина, определяющая суммарный эффект инерциальной и диссипативной (вязкой и электромагнитной) связи ядро-оболочка (при отсутствии диссипативной связи эффективное динамическое сжатие совпадает с динамическим сжатием)

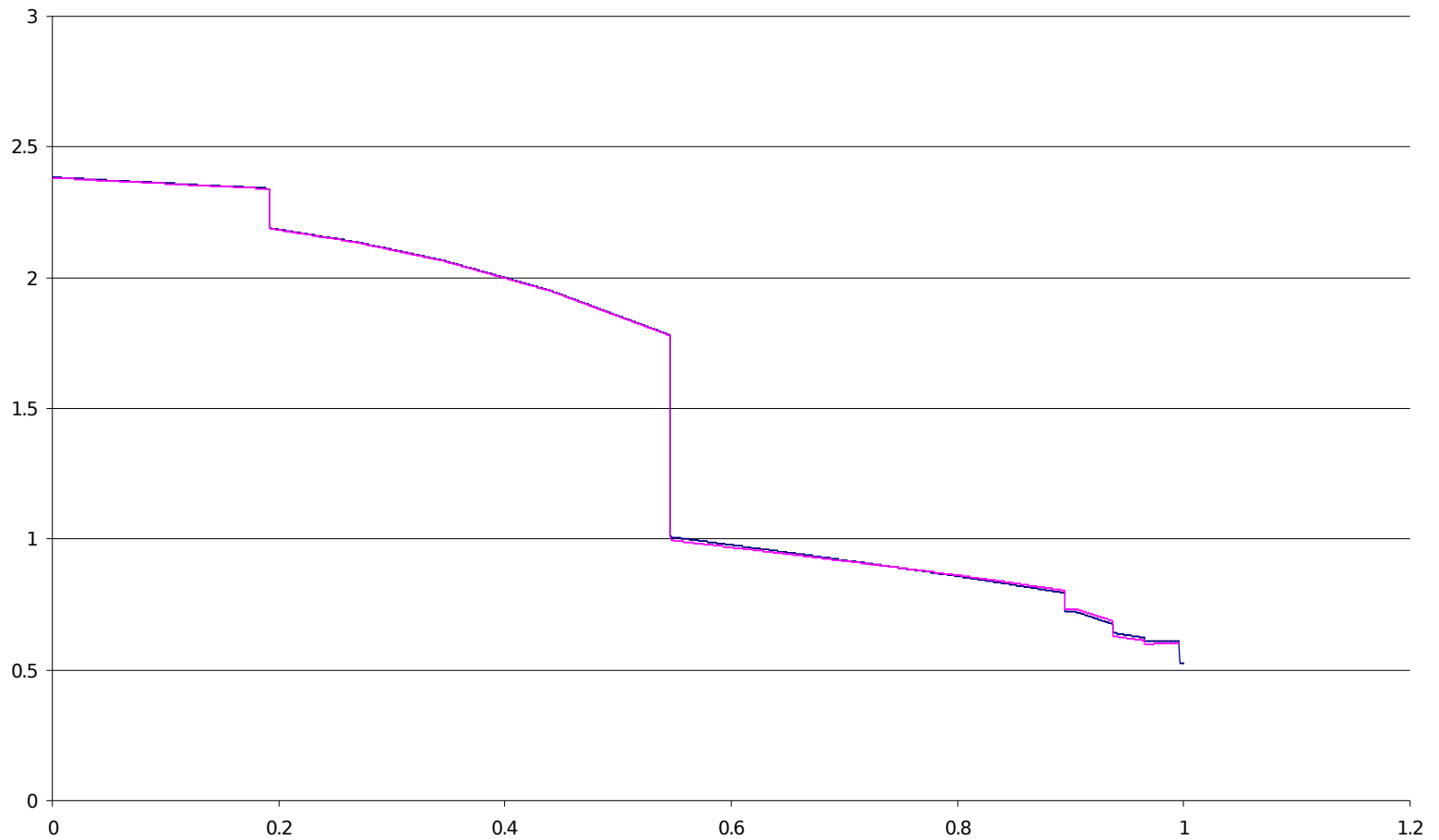
# Модели вязкости мантии по данным о вековом замедлении скорости вращения, динамическом сжатии всей Земли и жидкого ядра



ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ПОПРАВКИ  $dV_p/V_p$  ВО ВНУТРЕННЕМ ТВЕРДОМ ЯДРЕ И ВБЛИЗИ ЕГО ГРАНИЦЫ С ЖИДКИМ ЯДРОМ ПО ДАННЫМ О ПЕРИОДАХ РАДИАЛЬНЫХ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ И О ВЫНУЖДЕННОЙ НУТАЦИИ



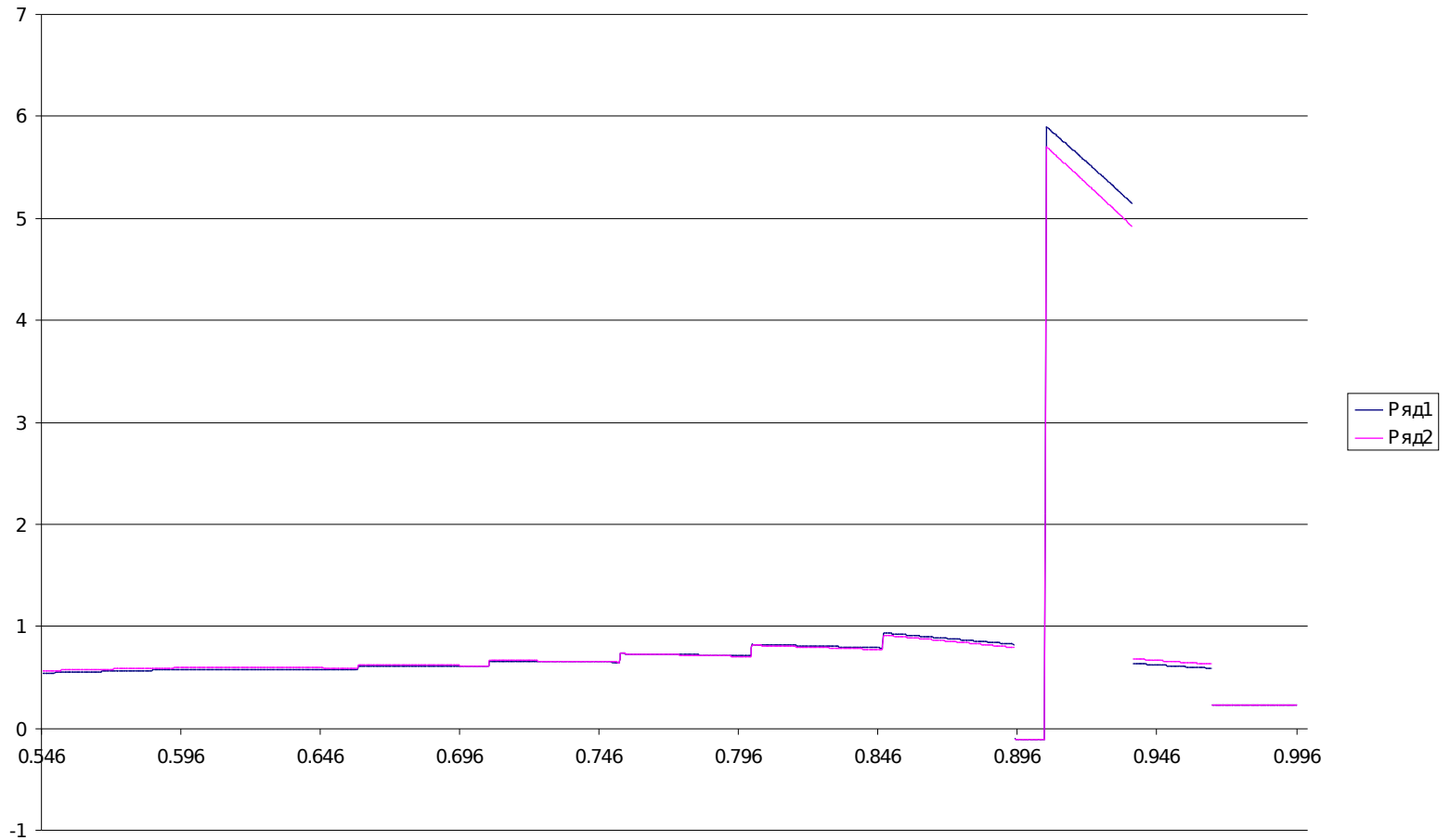
ПРОФИЛИ ПЛОТНОСТИ: 1-МОДЕЛЬ РРЕМ 2-МОДЕЛЬ, НАИЛУЧШИМ ОБРАЗОМ  
СОГЛАСУЮЩАЯСЯ С ДАННЫМИ О ПРИЛИВАХ, НУТАЦИИ И СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЯХ



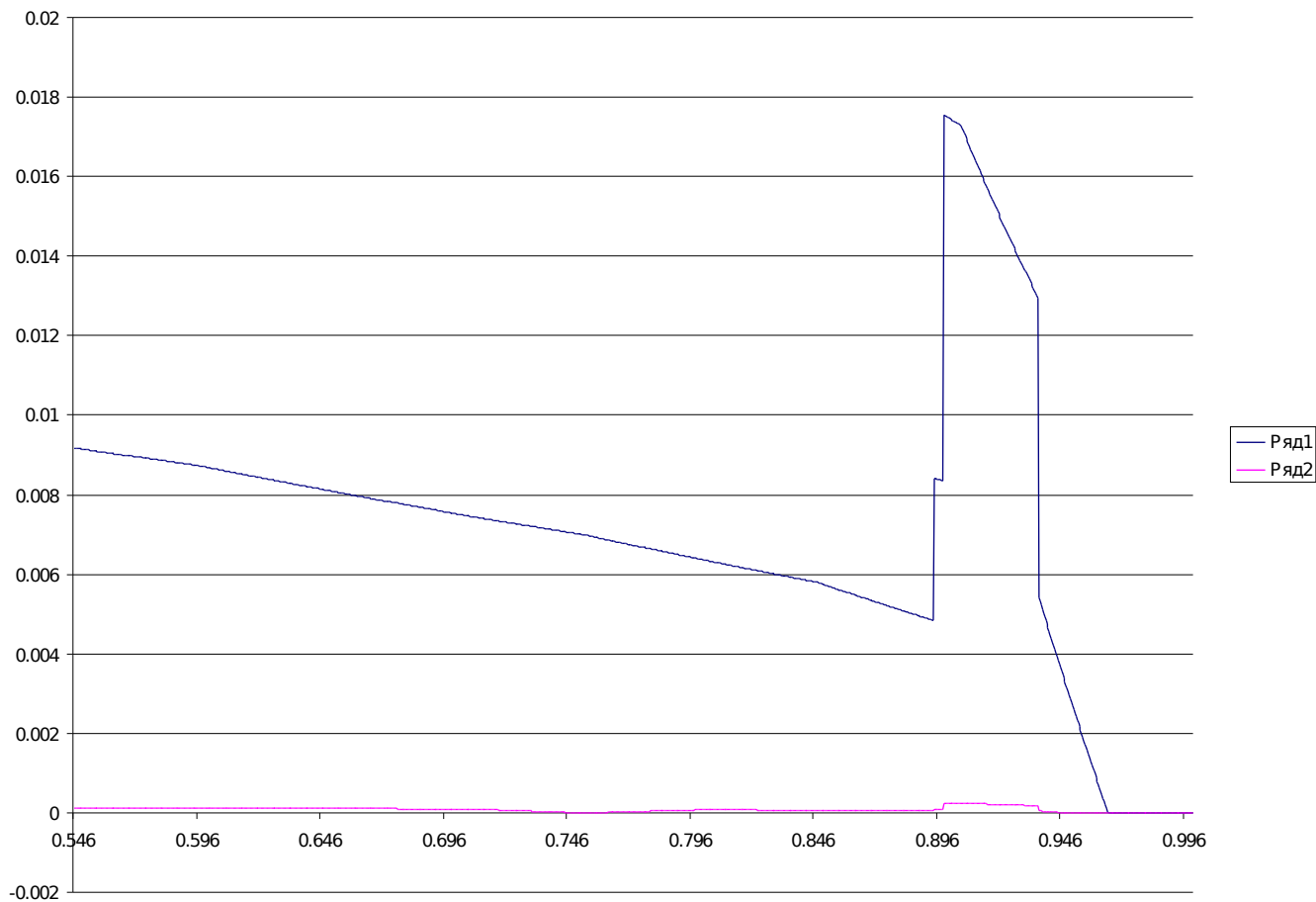
# ЧАСТОТА БРУНТА-ВЯЙСЯЛЯ

- При адиабатическом вертикальном смещении элемента среды архимедова сила изменится (1) из-за изменения окружающего давления, приводящего к объемному сжатию этого элемента и (2) из-за изменения плотности окружающей среды. Сумма этих двух эффектов может иметь любой знак. При устойчивом состоянии возвращающая сила направлена в сторону, обратную перемещению. Отношение «коэффициента жесткости» к массе определяет квадрат частоты, называемой частотой Брунта-Вяйсяля (при адиабатическом распределении температуры в химически однородной среде частота Брунта-Вяйсяля равна нулю).

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТЫ БРУНТА-ВЯЙСЯЛЯ В МАНТИИ: 1-МОДЕЛЬ PREM; 2-МОДЕЛЬ, НАИЛУЧШИМ ОБРАЗОМ СОГЛАСУЮЩАЯСЯ С ДАННЫМИ О ПРИЛИВАХ, НУТАЦИИ И СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЯХ

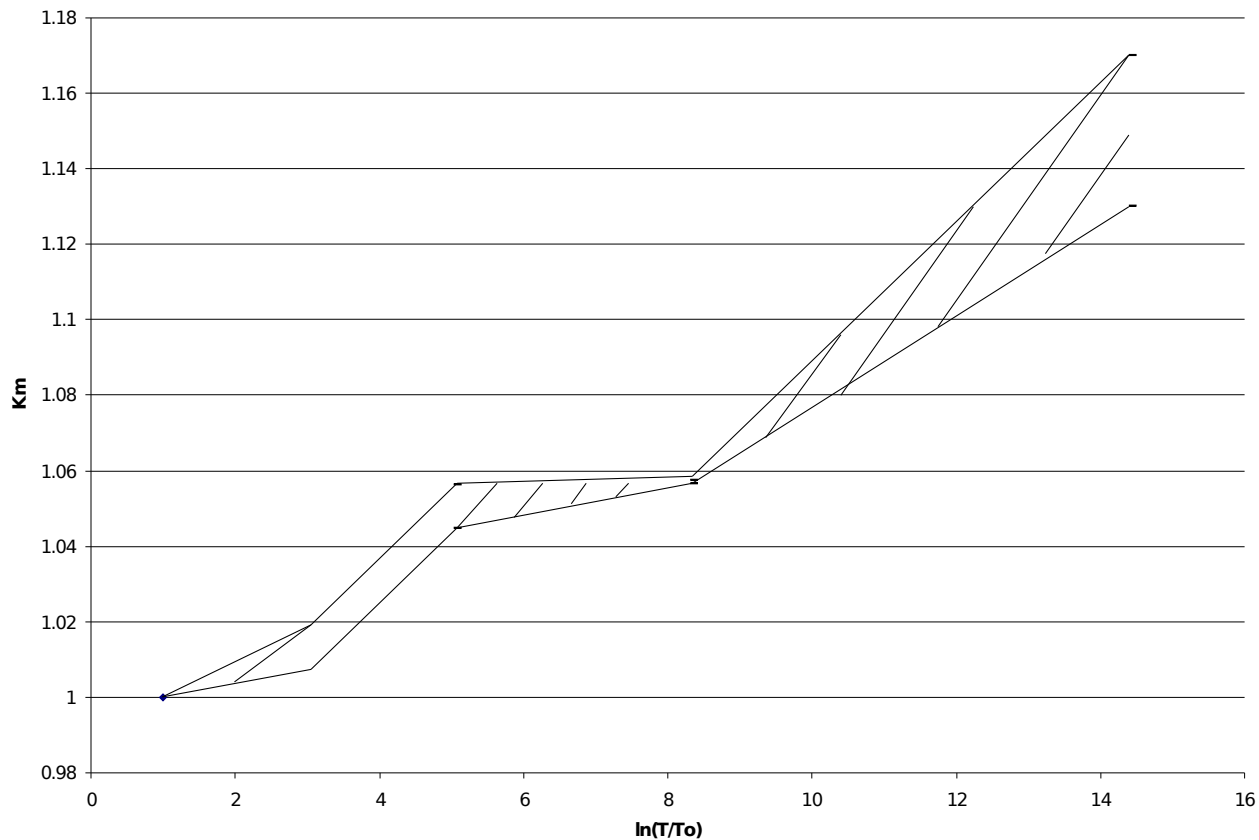


Распределение параметров добротности с глубиной для колебаний с периодом 200с, наилучшим образом согласующееся со всей совокупностью данных о приливах, нутации и собственных колебаниях Земли



Зависимость параметров добротности нижней мантии от периода колебаний в диапазоне от 1 секунды до 14 месяцев, наилучшим образом согласующаяся со всей совокупностью данных о приливах, нутации и собственных колебаниях Земли

Рис. 7



# ВЫВОДЫ

- СОПОСТВЛЕНИЕ ДАННЫХ О НУТАЦИИ, ПРИЛИВАХ И СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЯХ ЗЕМЛИ ПОЗВОЛЯЕТ НЕ ТОЛЬКО РАСШИРИТЬ ДИАПАЗОН ПЕРИОДОВ, В КОТОРОМ ИССЛЕДУЮТСЯ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗЕМЛИ, НО И СУЩЕСТВЕННО УТОЧНИТЬ МОДЕЛИ ЗЕМЛИ В КАЖДОМ ИЗ ПОДДИАПАЗОНОВ.
- РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ГРАДИЕНТНОГО СПУСКА СИЛЬНО ЗАВИСЯТ ОТ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ДЕЙСТВИЙ.
- ОПТИМАЛЬНАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ:
- (1 ) ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЛИПТИЧНОСТИ ГРАНИЦ МАНТИЯ-ЖИДКОЕ ЯДРО-ТВЕРДОЕ ЯДРО ,А ТАКЖЕ ВЯЗКОЙ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СВЯЗИ ЯДРО-МАНТИЯ ПО ДАННЫМ О НУТАЦИИ И СУТОЧНЫХ ПРИЛИВАХ;
- (2) ОТДЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ С НАИБОЛЬШЕЙ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ТОЧНОСТЬЮ (ОБ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТАХ НУТАЦИИ И О ПЕРИОДАХ ВЫСОКИХ ОБЕРТОНОВ РАДИАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ);
- (3) ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МАНТИИ ПО ДАННЫМ О ПРИЛИВАХ, НУТАЦИИ И СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЯХ;
- (4) ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГРАДИЕНТНОГО СПУСКА В ЕГО ОБЩЕМ ВИДЕ

## **РЕЗУЛЬТАТ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ:**

- При весах, обратно пропорциональных ошибкам наблюдений, среднеквадратические ошибки частот радиальных колебаний уменьшаются в 12 раз, основных тонов сфероидальных колебаний ( $n=2, \dots, 15$ ) уменьшается в 4 раза, крутильных колебаний – в 2 раза, амплитуд главных компонент вынужденной нутации – в 2.5 раза. ПРИ ЭТОМ ОТНОСЯЩАЯСЯ К ПЕРИОДУ КОЛЕБАНИЙ 1с МОДЕЛЬ ПРЕМ 1 ОСТАЕТСЯ ПРАКТИЧЕСКИ НЕИЗМЕННОЙ (изменения невязок времен прохождения объемных волн в несколько раз меньше самих невязок)

Спасибо

- за внимание