

Влияние землетрясений на вращение Земли

В.Е.Жаров

Государственный астрономический ин-т им.П.К.Штернберга

Москва

Сагитовские чтения-2011

Основные выражения (1)

Уравнение вращения в системе отсчета тела:

$$\frac{d\vec{H}}{dt} + \vec{\omega} \times \vec{H} = \vec{L}$$

$\vec{H} = I\vec{\omega} + \vec{h}$ – вектор углового момента

$\vec{\omega}$ – вектор мгновенной угловой скорости вращения

\vec{L} – вектор момента внешних сил

$$I = \begin{pmatrix} A & 0 & 0 \\ 0 & B & 0 \\ 0 & 0 & C \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{12} & c_{22} & c_{23} \\ c_{13} & c_{23} & c_{33} \end{pmatrix}; \vec{\omega} = \begin{pmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \end{pmatrix} = \Omega \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} + \Omega \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \end{pmatrix}$$

Основные выражения (2)

Уравнения Эйлера – Лиувилля:

$$m_i \ll 1; c_{ij} \ll C$$

$$\frac{i}{\sigma} \frac{dm}{dt} + m = \psi; \frac{dm_3}{dt} = \frac{d\psi_3}{dt}$$

$$m = m_1 + im_2; c = c_{13} + ic_{23}; h = h_1 + ih_2; L = L_1 + iL_2$$

$m_1, m_2, 1 + m_3$ – направляющие косинусы вектора $\vec{\omega}$ относительно координатных осей вращающейся, связанной с телом системы координат

m_1, m_2 – положение полюса вращения в системе ITRF

Но IERS не дает положения полюса вращения в системе ITRF !!!

IERS дает положение небесного эфемеридного (НЭП, CEP) или промежуточного полюса (НПП, CIP)

Основные выражения (3)

$$\vec{R}_{GCRS} = PNSXY \vec{R}_{ITRF}$$

$$X = \begin{pmatrix} \cos x_p & 0 & -\sin x_p \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin x_p & 0 & \cos x_p \end{pmatrix}; Y = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos y_p & \sin y_p \\ 0 & -\sin y_p & \cos y_p \end{pmatrix}$$

x_p, y_p – координаты НПП из астрономических наблюдений

$$p = p_1 - ip_2; m = p - \frac{i}{\Omega} \frac{dp}{dt}$$

$$\frac{i}{\sigma_{Ch}} \frac{dp}{dt} + p = \chi; \frac{dp_3}{dt} = \frac{d\chi_3}{dt}$$

$$\chi = \chi_1 + i\chi_2$$

$$\sigma_{Ch} = \frac{2\pi}{T_{Ch}} \left(1 + \frac{i}{2Q}\right); T_{Ch} = 433.0 \pm 1.1; Q = 179(74 \div 789)$$

Эффективные возбуждающие функции

$$\chi^{atm} = \frac{1.608}{(C - A')\Omega} [h + 0.684\Omega c]$$

$$\chi_3^{atm} = \frac{0.997}{C_{mantle}\Omega} [h_3 + 0.750\Omega c_{33}]$$

или

$$\chi_j^{atm} = \chi_j^m + \chi_j^p \quad (j = 1, 2, 3)$$

В общем виде:

$$\chi_j = (\chi_j^m + \chi_j^p)^{atm} + (\chi_j^m + \chi_j^p)^{oc} + (\chi_j^m + \chi_j^p)^{hyd} + (\chi_j^m + \chi_j^p)^q + .??.$$

Геофизическое возбуждение вращения

$$\frac{i}{\sigma_{Ch}} \frac{dp}{dt} + p = \chi; \frac{dp_3}{dt} = \frac{d\chi_3}{dt}$$

Решение (1):

$$p(t) = e^{i\sigma_{Ch}t} \left[p(t_0) - i\sigma_{Ch} \int_{t_0}^t \chi(\tau) e^{-i\sigma_{Ch}\tau} d\tau \right]$$

$$p_3(t) = \Lambda_0 \chi_3(t) + \text{const}, \quad \Lambda_0 = 86400 \text{ s}$$

Решение (2):

$$\frac{i}{\sigma_{Ch}} \frac{d(x_p - iy_p)}{dt} + (x_p - iy_p) = \chi^{ast}$$

Параметры вращения Земли из астрономических наблюдений

x_p, y_p – координаты небесного промежуточного полюса (НПП)

$\Delta\Lambda$ – "продолжительность суток"

Вклад землетрясений во вращение Земли :

$$[x_p(t) - iy_p(t)] - p(t) + \varepsilon(t) \text{ или } [\chi^{ast} - \chi] + \varepsilon'(t) \approx (J_1 + iJ_2)H(t)$$

$$\Delta\Lambda(t) - p_3(t) + \varepsilon_3(t)$$

$$H(t) = \begin{cases} 0, & t < t^* \\ 1, & t \geq t^* \end{cases}$$

План

1. Вычисление разницы наблюдаемых и
вычисленных величин

$$\{[x_p(t) - iy_p(t)] - p(t)\}$$

$$\{\Delta\Lambda(t) - p_3(t)\}$$

2. Оценка ошибок

(ошибки наблюдений, ошибки моделирования)

$$\varepsilon(t)$$

$$\varepsilon_3(t)$$

Землетрясения

	Время	Координаты	Магнитуда
Суматра	26.12.2004 00:58:53 MJD=53365.0007	$\varphi=3.295$ $\lambda=95.982$ h=30 km	M=9.1
Чили	27.02.2010 06:34:11 MJD=55254.2737	$\varphi=-36.122$ $\lambda=287.102$ h=23 km	M=8.8
Япония	11.03.2011 05:46:24 MJD=55631.2406	$\varphi=38.320$ $\lambda=142.351$ h=32 km	M=9.0

Используемые данные

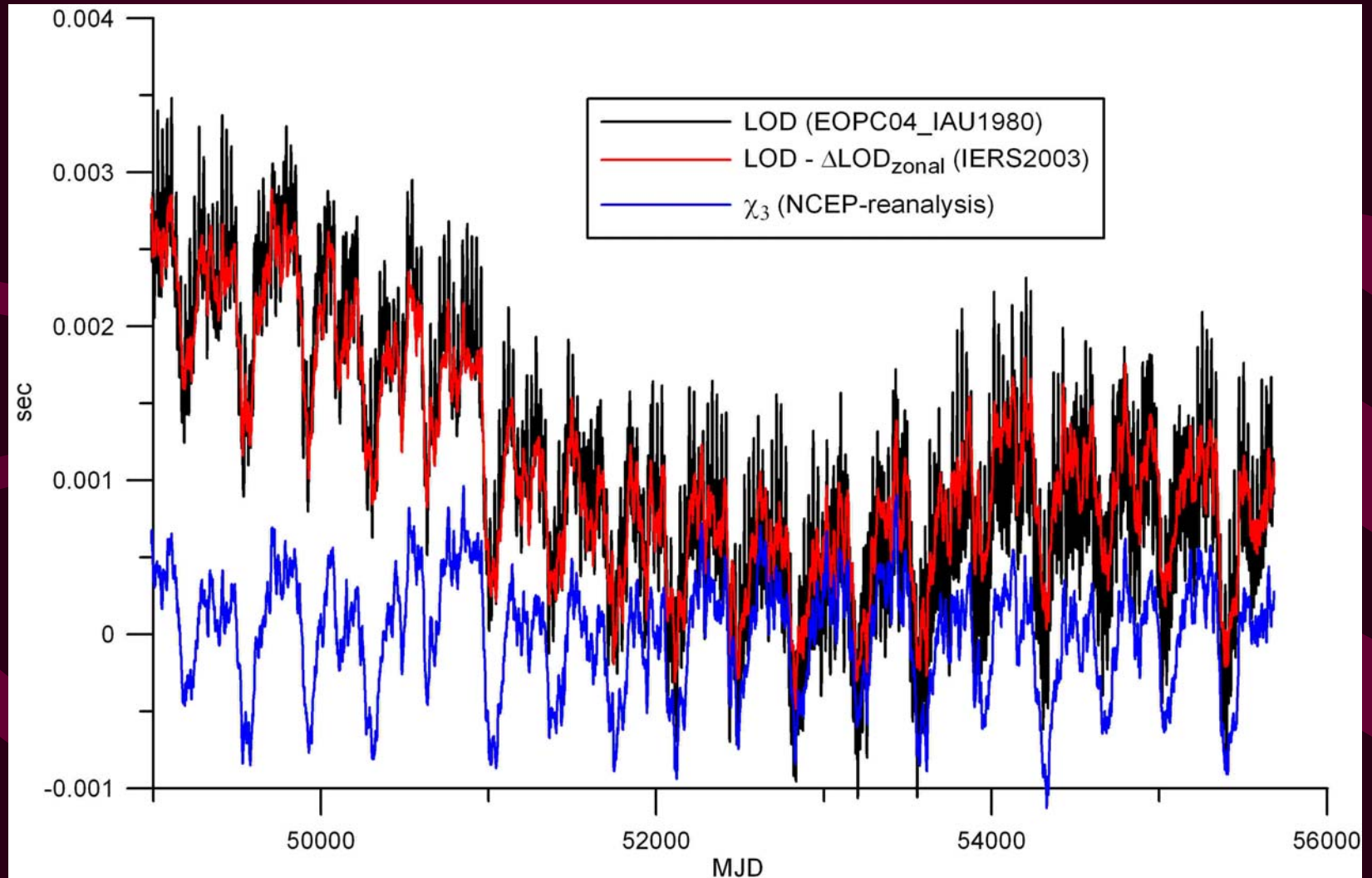
Астрономические

- 1) EOP C04 (IERS): $\sigma(x_p, y_p) = 15-20 \mu\text{s}$, $\sigma(\Delta\Lambda) = 2 \mu\text{s}$
- 2) IVS 08 q2e (IVS): $\sigma(x_p, y_p) = 12-40 \mu\text{s}$, $\sigma(\Delta\Lambda) = 1-5 \mu\text{s}$

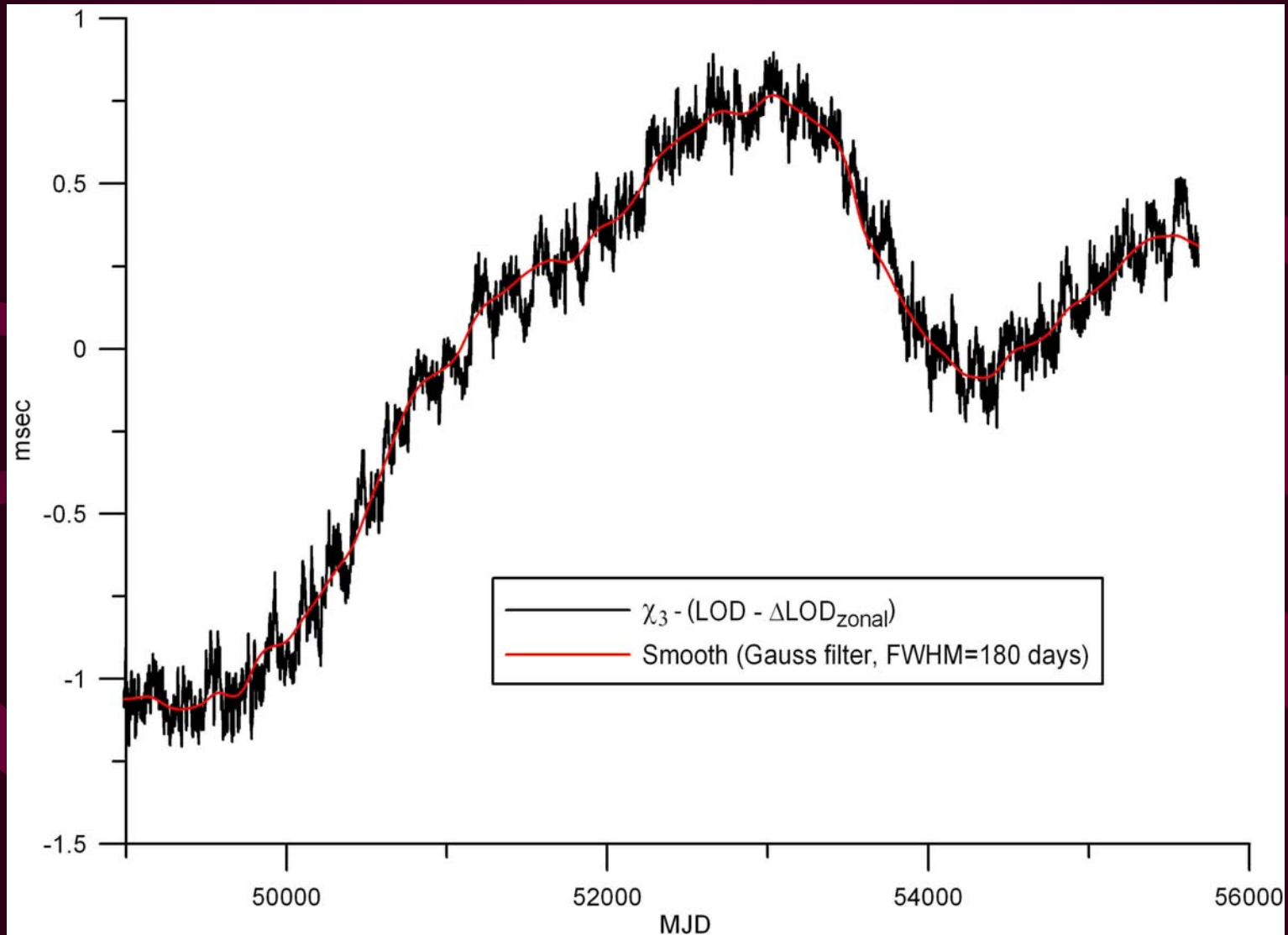
Геофизические

- 1) NCEP (AAMF)
- 2) JMA(AAMF)
- 3) DFZ (ECMWF AAMF, OAMF, HAMF)

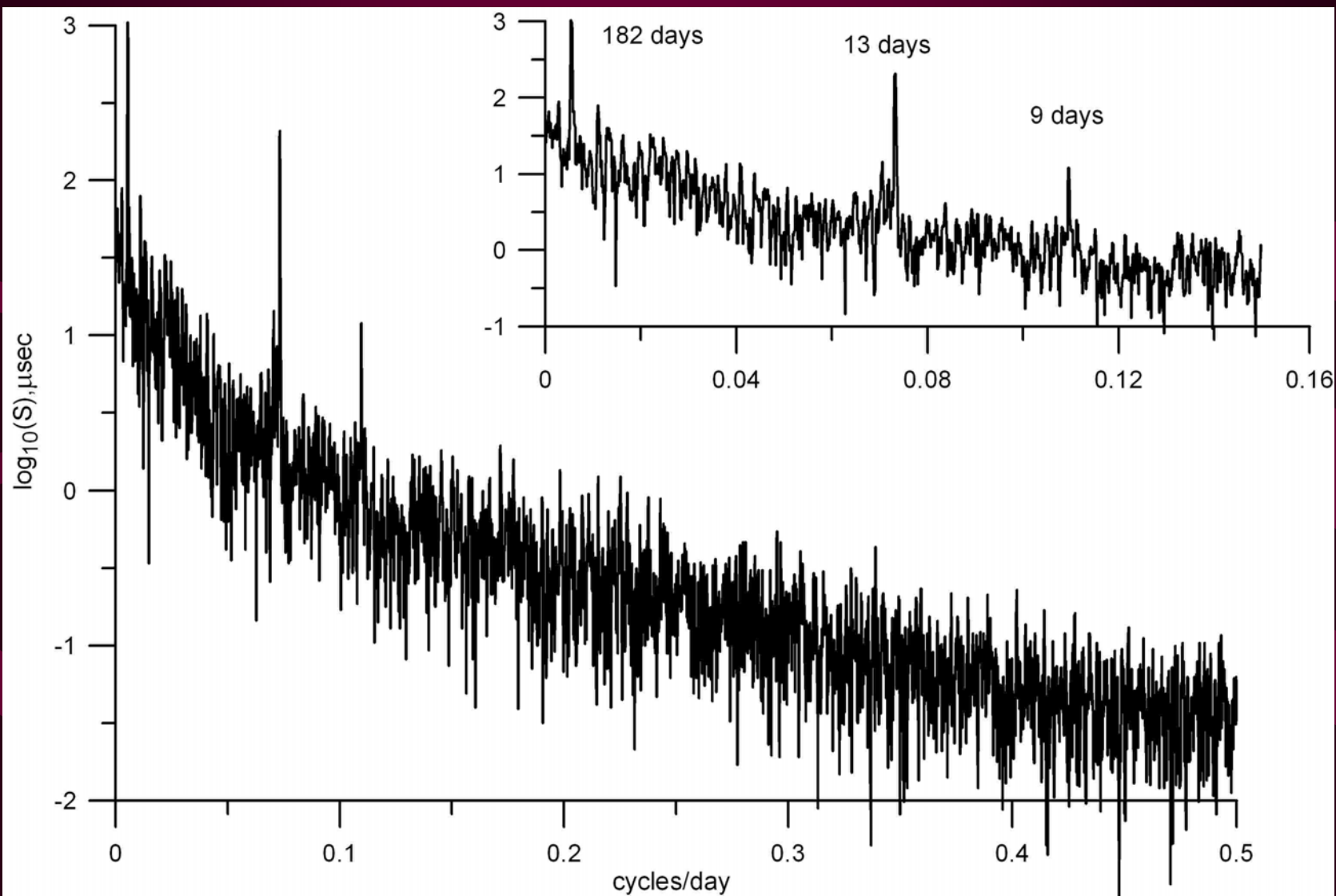
Продолжительность суток из астрономических и метеонаблюдений



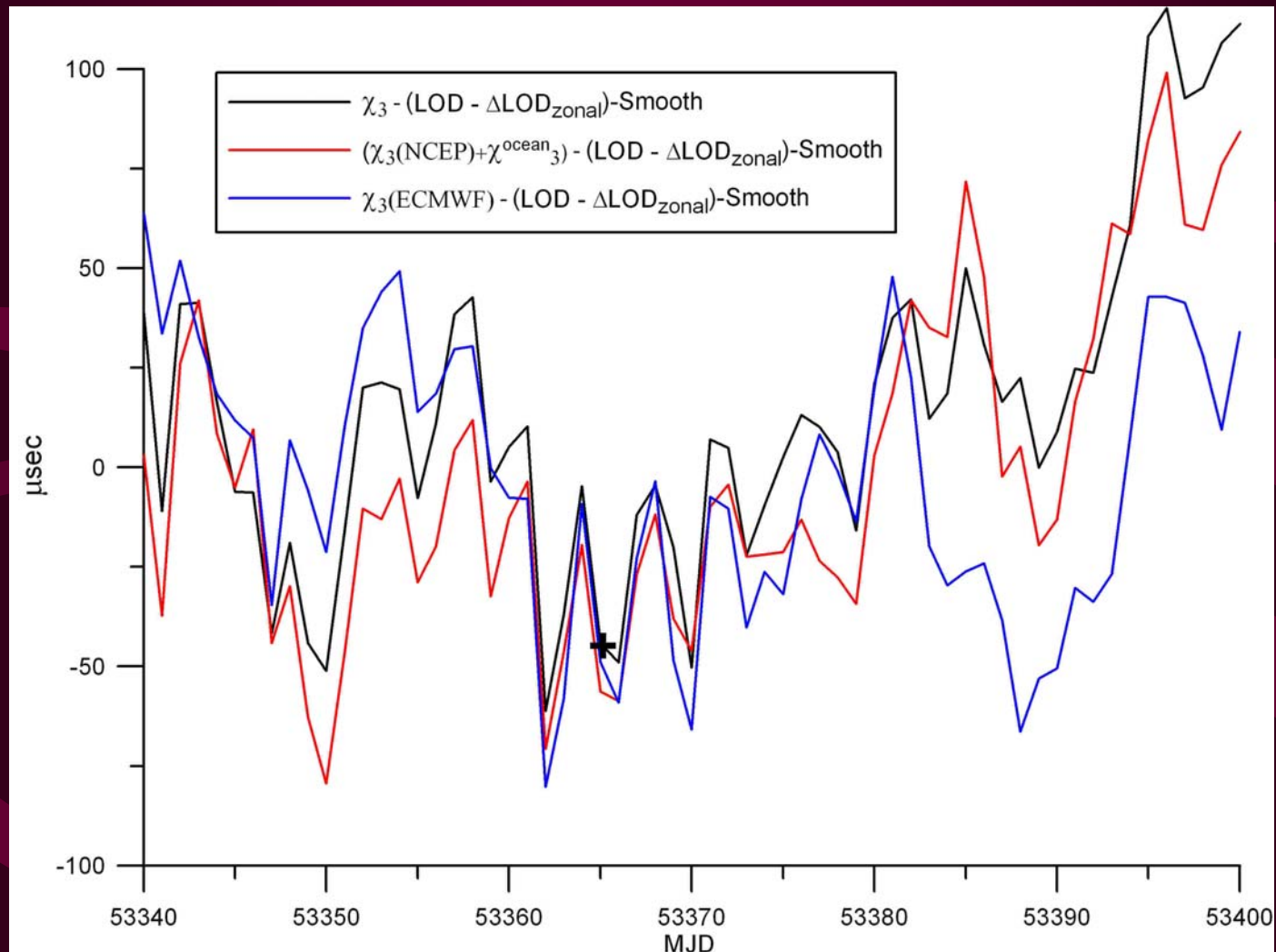
Разность LOD из астрономических и метеонаблюдений



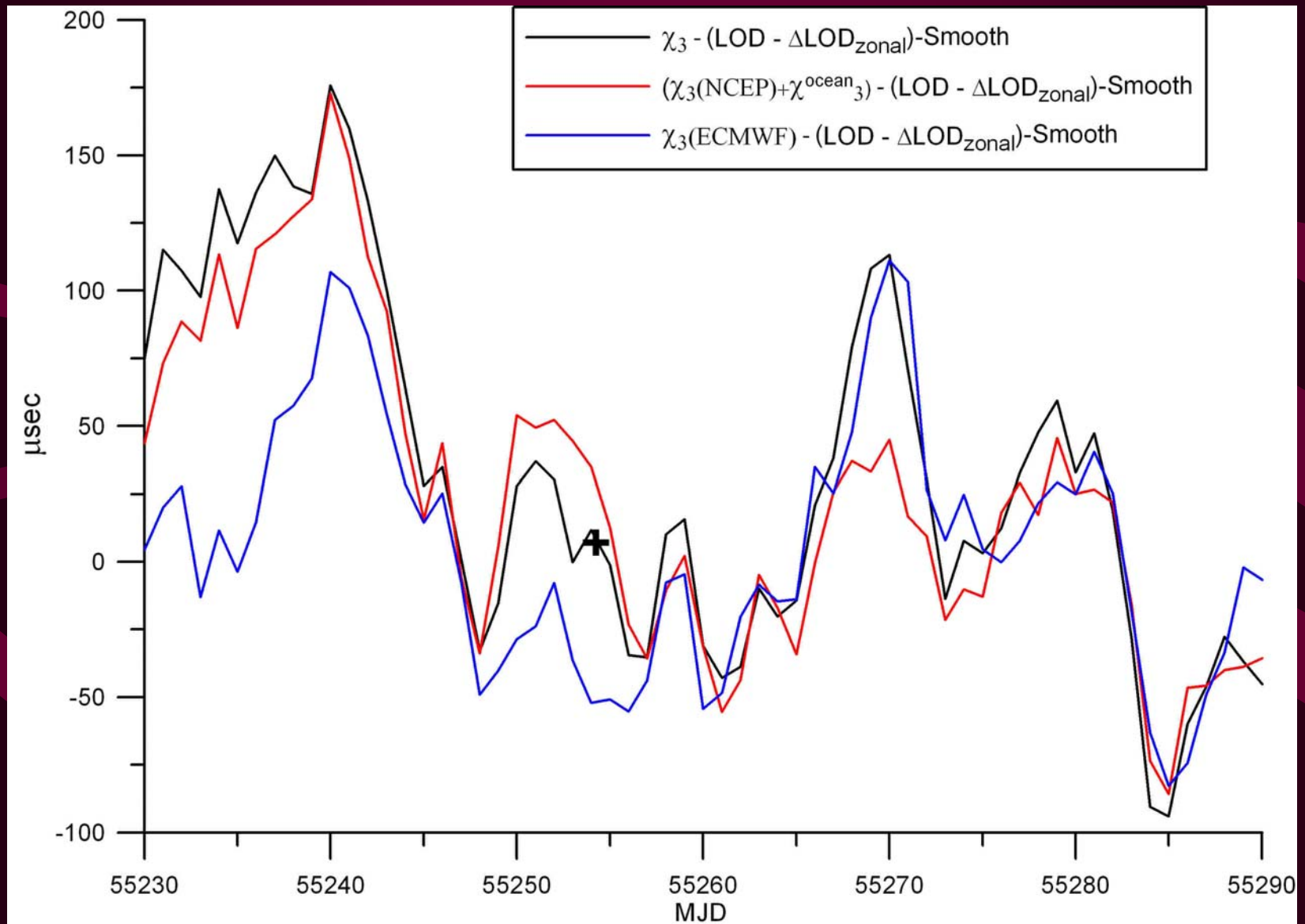
Спектр разности LOD из астрономических и метеонаблюдений



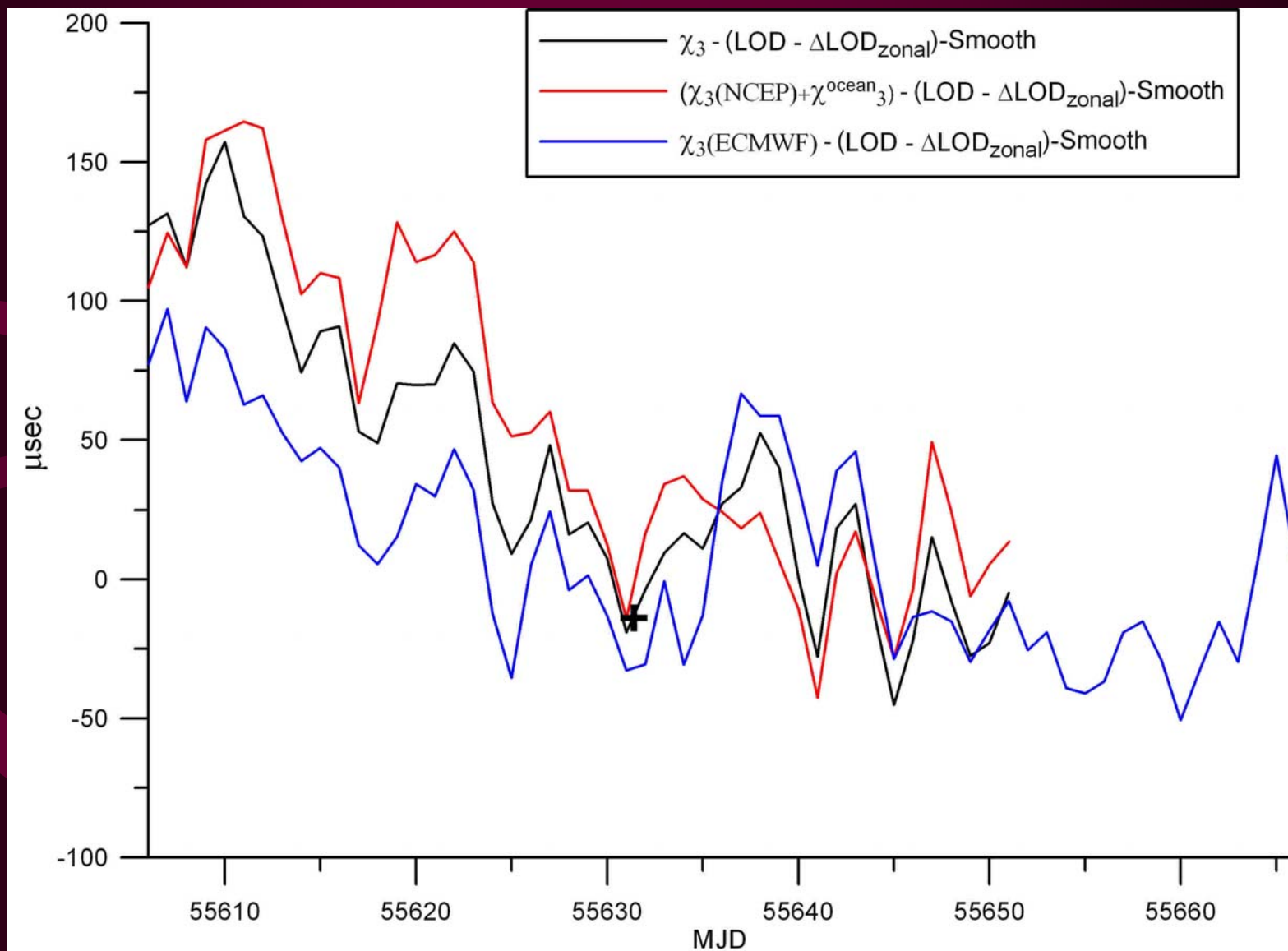
Разность LOD из астрономических и метеонаблюдений (Суматра)



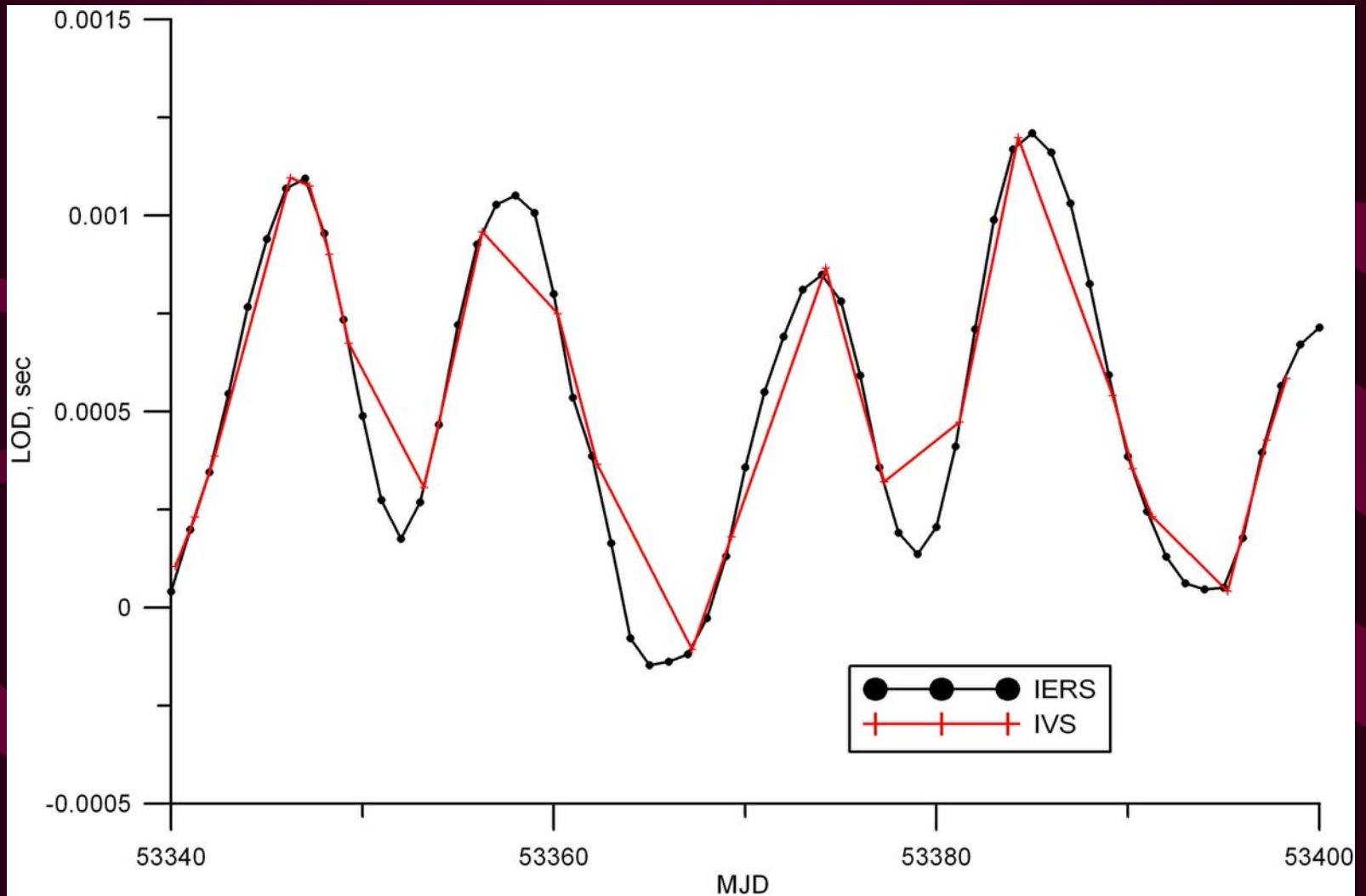
Разность LOD из астрономических и метеонаблюдений (Чили)



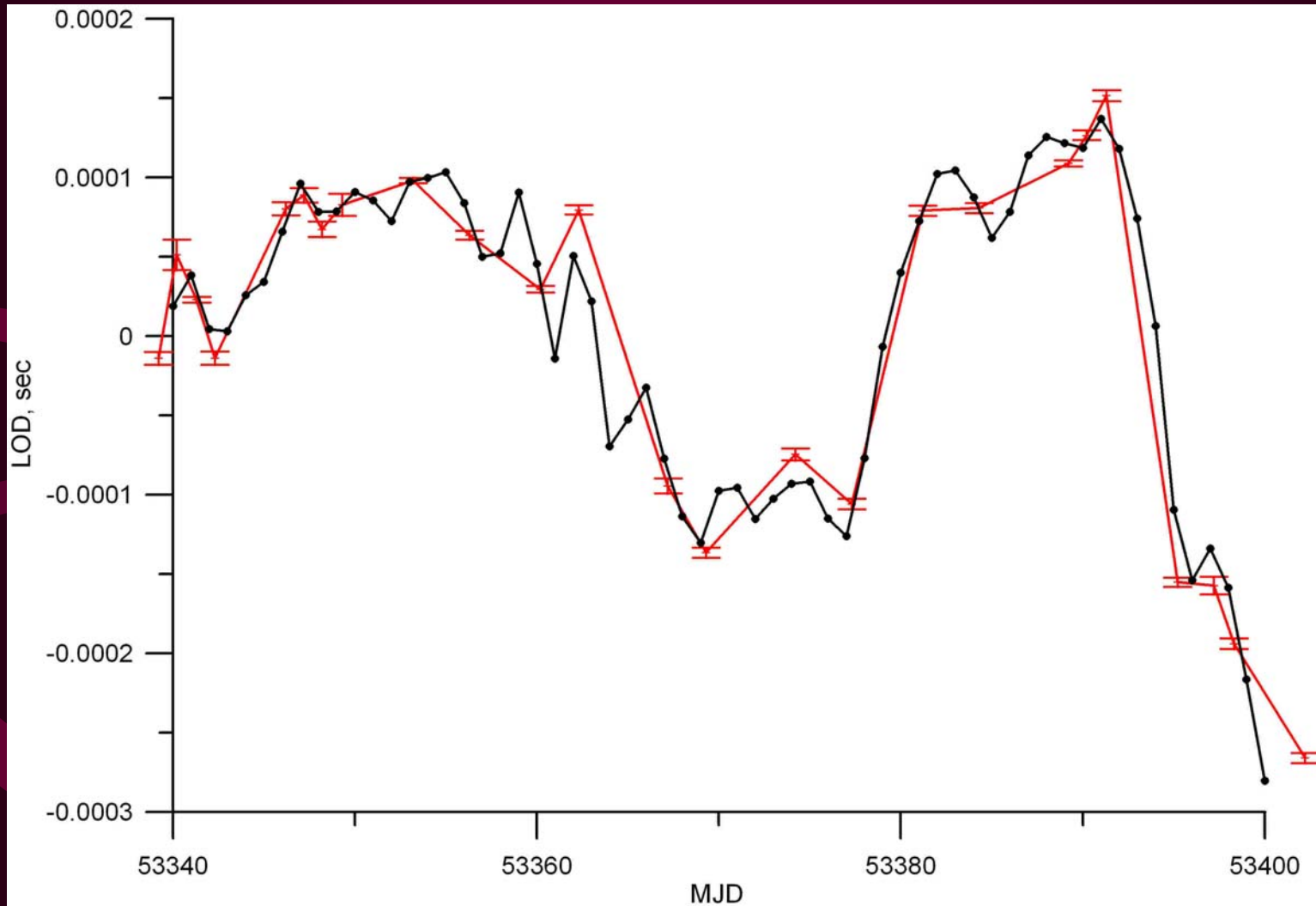
Разность LOD из астрономических и метеонаблюдений (Япония)



Сравнение астрономических данных(1)



Сравнение астрономических данных. Исключены зональные приливы(2)



Оценка магнитуды по точности астрономических данных

$$\frac{\Delta\Lambda}{\Lambda_0} = \frac{\Delta C_{mantle}}{C_{mantle}} = 0.866 \frac{c_{33}}{C} \Rightarrow$$

$$c_{33} = 1.155C \frac{\Delta\Lambda}{\Lambda_0} \approx 1.155 \times 8.04 \cdot 10^{37} \cdot \frac{5 \cdot 10^{-6}}{86400} \approx 5.4 \cdot 10^{27} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$C_{33} = C + c_{33} = \iiint_V (x_1^2 + x_2^2) dM$$

Для землетрясения на Суматре ($\varphi \approx 0^\circ$, $\lambda \approx 90^\circ$):

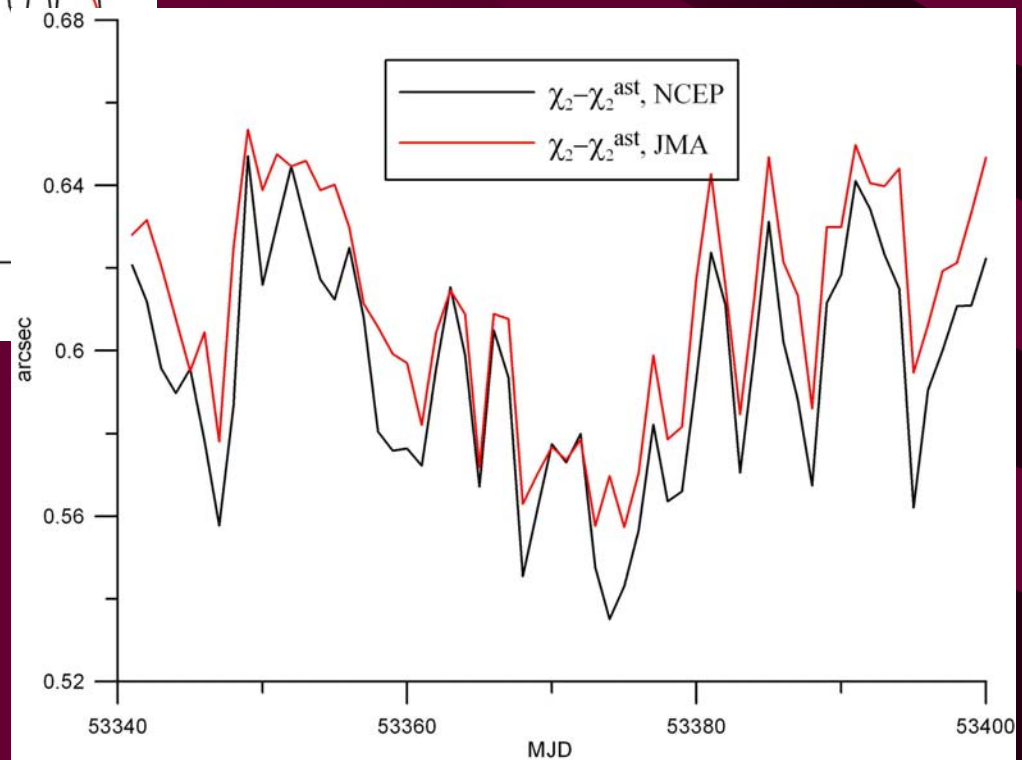
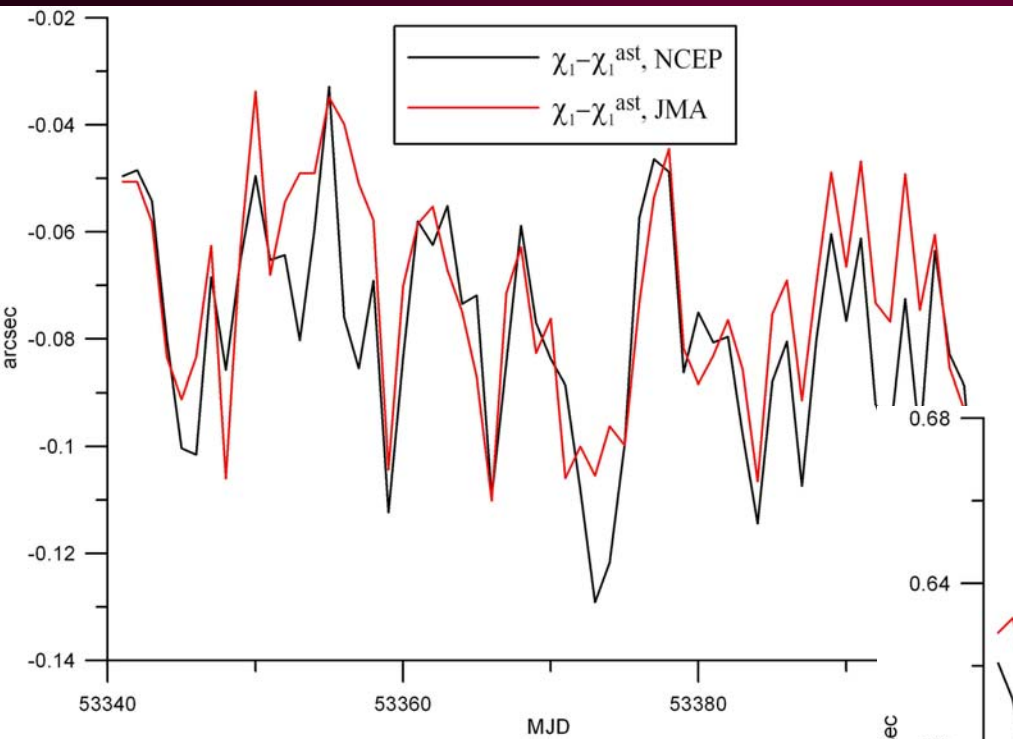
$$c_{33} \approx 2\Delta x_2 x_2 \Delta M$$

$$\Delta x_2 \approx 10 \text{ м}, x_2 \approx 6.4 \cdot 10^6 \text{ м}$$

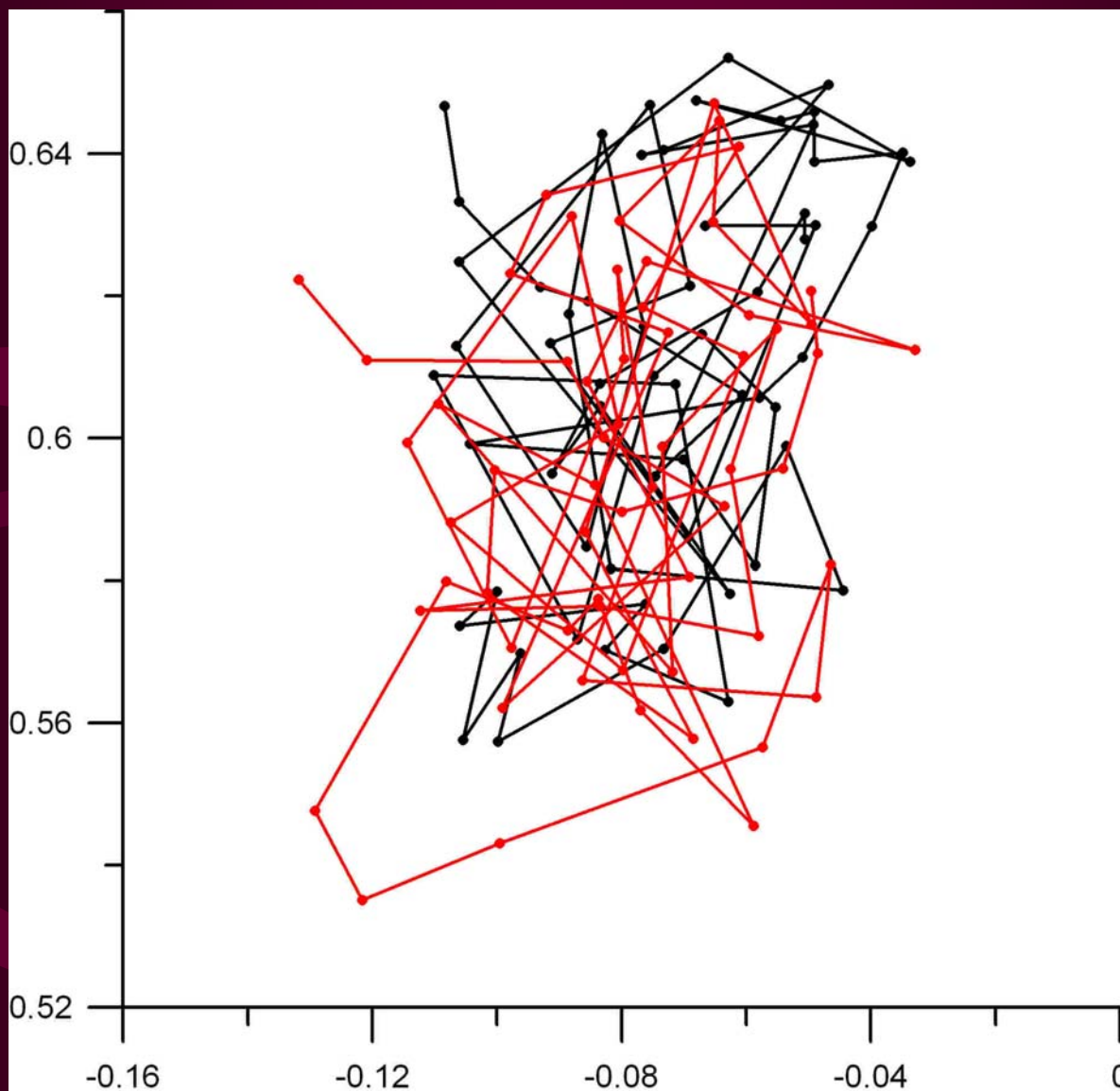
$$\Delta M = \rho \Delta V = 2.3 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} \cdot (1000 \cdot 100 \cdot 30) \cdot 10^9 \text{ м}^3 = 6.9 \cdot 10^{18} \text{ кг}$$

$$c_{33} \approx 8.8 \cdot 10^{26} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 < 5.4 \cdot 10^{27} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

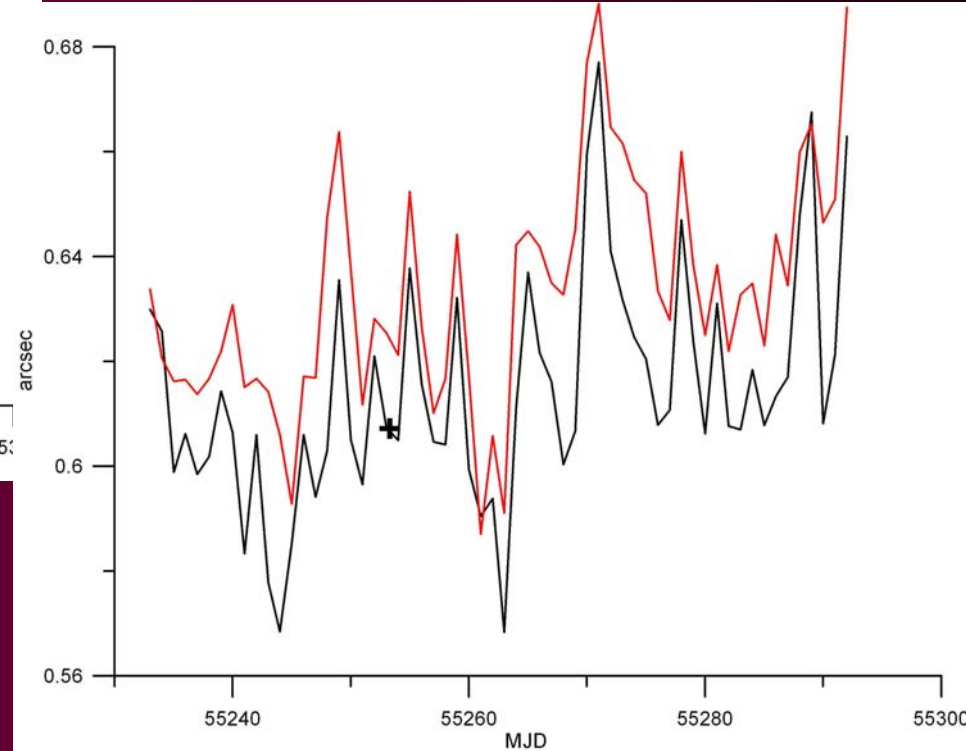
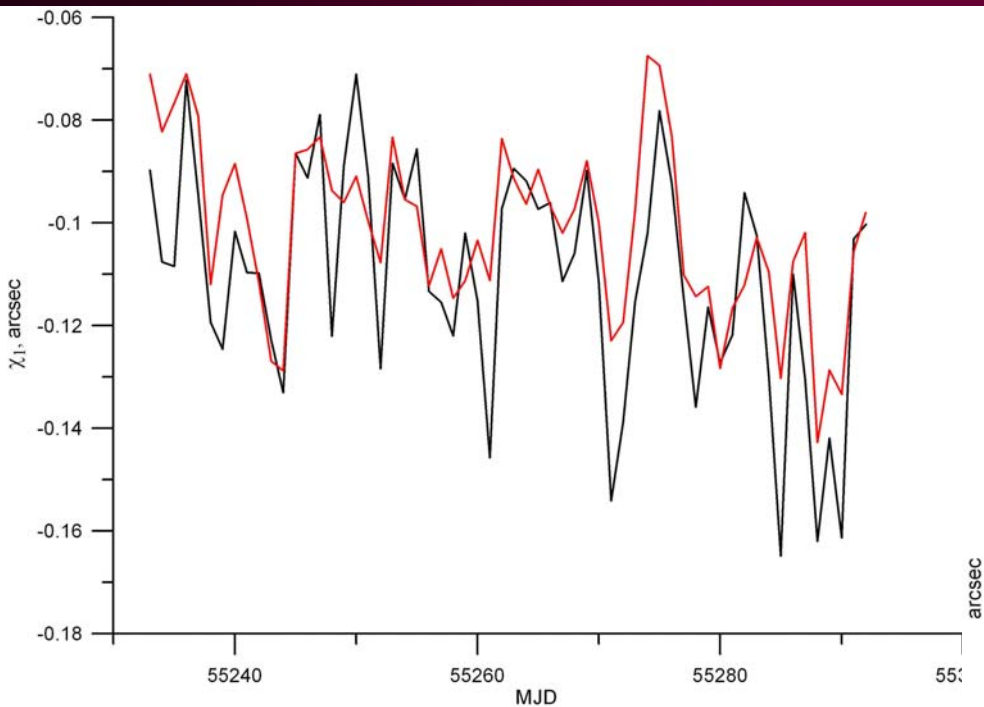
Сравнение возбуждающих функций



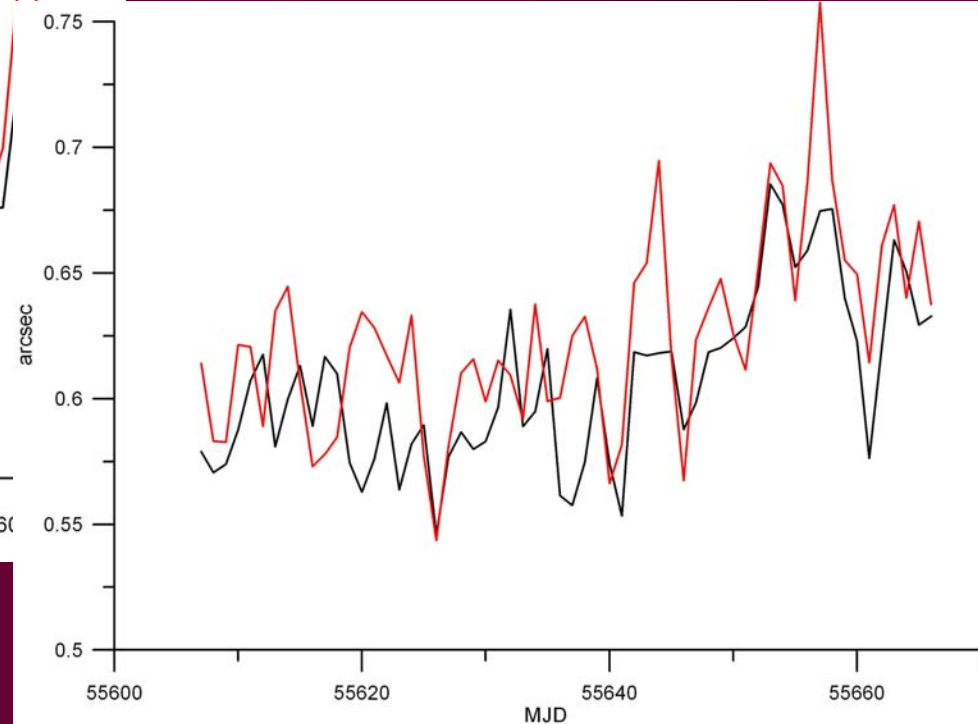
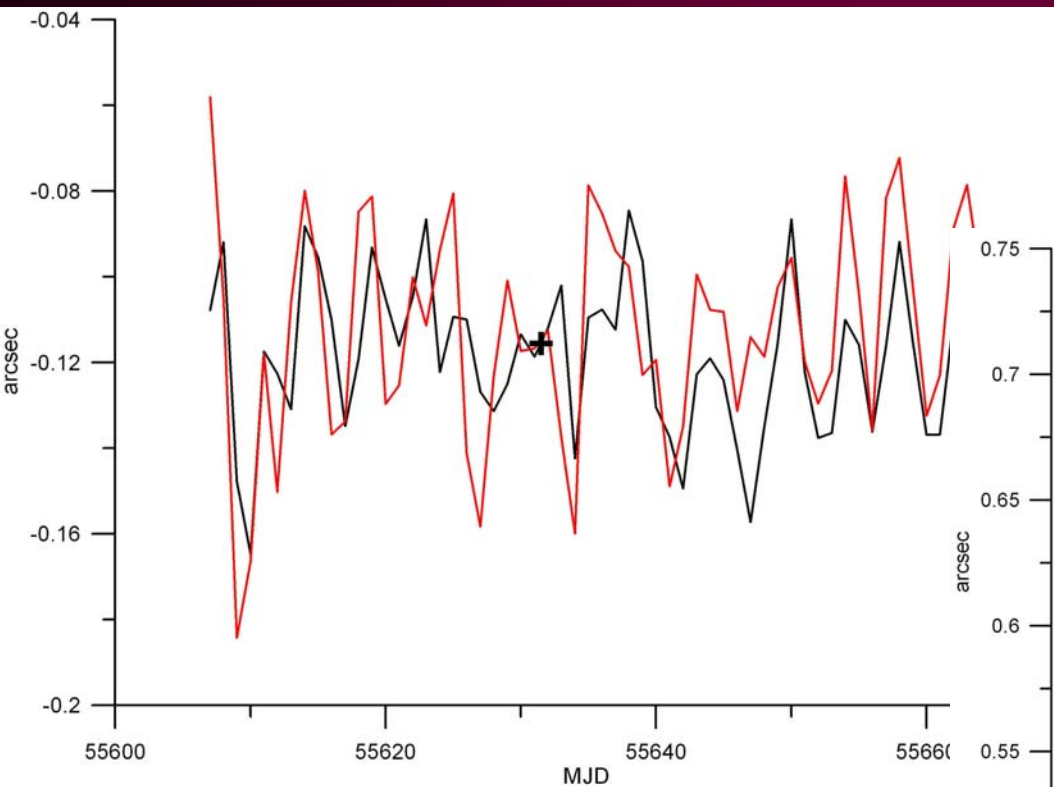
Сравнение возбуждающих функций (Суматра)



Сравнение возбуждающих функций (Чили)



Сравнение возбуждающих функций (Япония)



Выводы

1. Точность и временное разрешение современных астрономических средств недостаточны для выделения возмущений, вызванных сильнейшими землетрясениями
2. Модель зональных приливов не точна.

Спасибо за внимание!