

***Изменения полуосей
геометрического эллипсоида
по данным GPS наблюдений***

В.И.Кафтан, Е.Н.Цыба
(ЦНИИГАиК, МИИГАиК)

Результаты определения изменений земного радиуса геодезическими методами

| № | Автор, год опубликования | Временной интервал | Методы измерения | V_r , мм/год | σ_{vr} |
|----|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------|
| 1 | У.Д. Паркинсон, 1986 г. (по У. Керри, 1991, стр. 192-194) | ? | РСДБ | +28 | ± 8 |
| 2 | В. Ф. Блинов, 1987 | ? | Доплеровский метод | +24.3 | - |
| 3 | В. Ф. Блинов, 1987 | 1979-1982 | SLR | +31.0 | - |
| 4 | Неки et al, 1989 | 1979-1986 | VLBI | $\approx -7-8$ | - |
| 5 | В. Ф. Блинов, 1992 | 1980-1984 | SLR | $\approx +20$ | - |
| 6 | М. Д. Герасименко, 1993 | 1978-1988 | SLR | $\approx +4.15$ | ± 0.27 |
| 7 | М. М. Машимов, 1994 | 1978-1988 | SLR Lageos | $\approx (-10)$ | 0.1-0.2 |
| 8 | Takahashi, 1994 | 1984-1989 | SLR, VLBI | -0.6 | ± 2.5 |
| 9 | М. Д. Герасименко, 1995 | ? | VLBI(РСДБ) | 3 | 2 |
| 10 | Lutes, 1996 | 1979-1995 | VLBI | -0.94 -0.01 | ± 0.35 ± 0.04 |
| 11 | М. Д. Герасименко, 1998 | 1979-1995 | VLBI | $(-0.5 \div +0.5)$ | ± 0.5 |
| 12 | М. D. Gerasimenko, Kato 2000 | 1979-1997 | VLBI | -0.14 +0.48 | ± 0.18 ± 0.09 |
| 13 | М. D. Gerasimenko, Kasahara 2001 | ? | VLBI | -0.3 | ± 0.01 |
| 14 | А.Г.Коломиец, М.Д. Герасименко, Ж.Ф. Крето, Л. Сударин 2007г. | 1992-2001 | DORIS | +0.21 | 0.99 |

Методы создания глобальной геодезической основы

| Метод | Характеристика | Точность | Компоненты координатного обеспечения |
|----------------------------|---|--|---|
| РСДБ | Определение расстояний и координат в небесной системе отсчета | $D \cdot 10^{-13}$ 0.0001'' | Вращение Земли, отсчетная основа, движения земной поверхности |
| Лазерная локация спутников | Определение координат | 1-2 см | Вращение Земли, отсчетная основа, движения земной поверхности |
| СРНС | Определение координат | 1-2 см (эпизодически) 1-2 мм (непрерывно) | Отсчетная основа, движения земной поверхности |
| DORIS | Определение координат | 1-5 см | Отсчетная основа, движения земной поверхности |
| Спутниковая альтиметрия | Определение высоты геоида | ~ см | Отсчетная основа, движения земной поверхности |
| Абсолютные гравиметры | Абсолютные ускорения силы тяжести | 2-3 мкГал | Отсчетная основа, сила тяжести, движения земной поверхности, вращение Земли |
| Сверхпроводимые гравиметры | Относительные ускорения силы тяжести | 0.1 мкГал | Отсчетная основа, сила тяжести, движения земной поверхности, вращение Земли |
| Статические гравиметры | Относительные ускорения силы тяжести | 2-3 мкГал | Сила тяжести, отсчетная основа |

Схема глобальной сети РСДБ

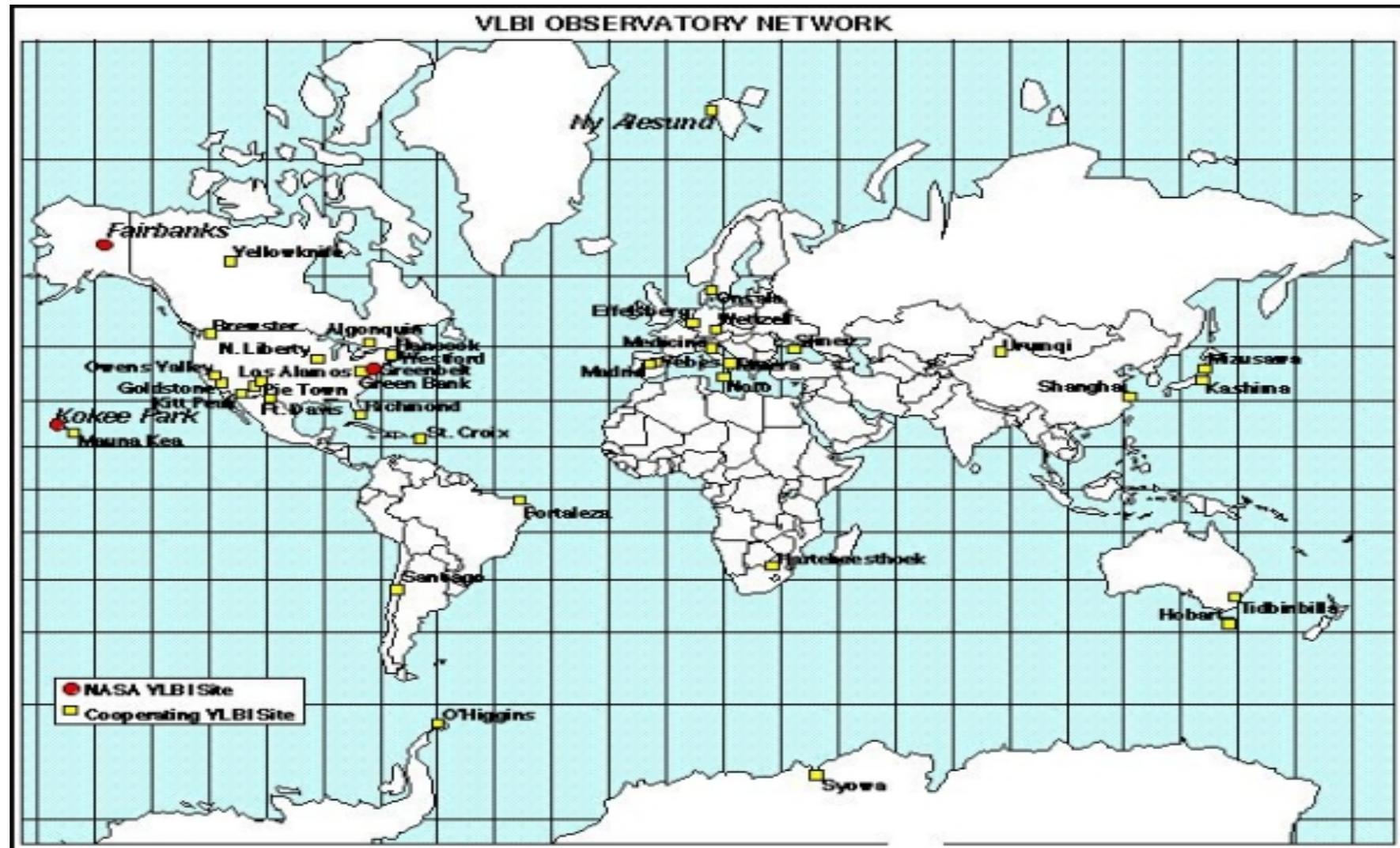
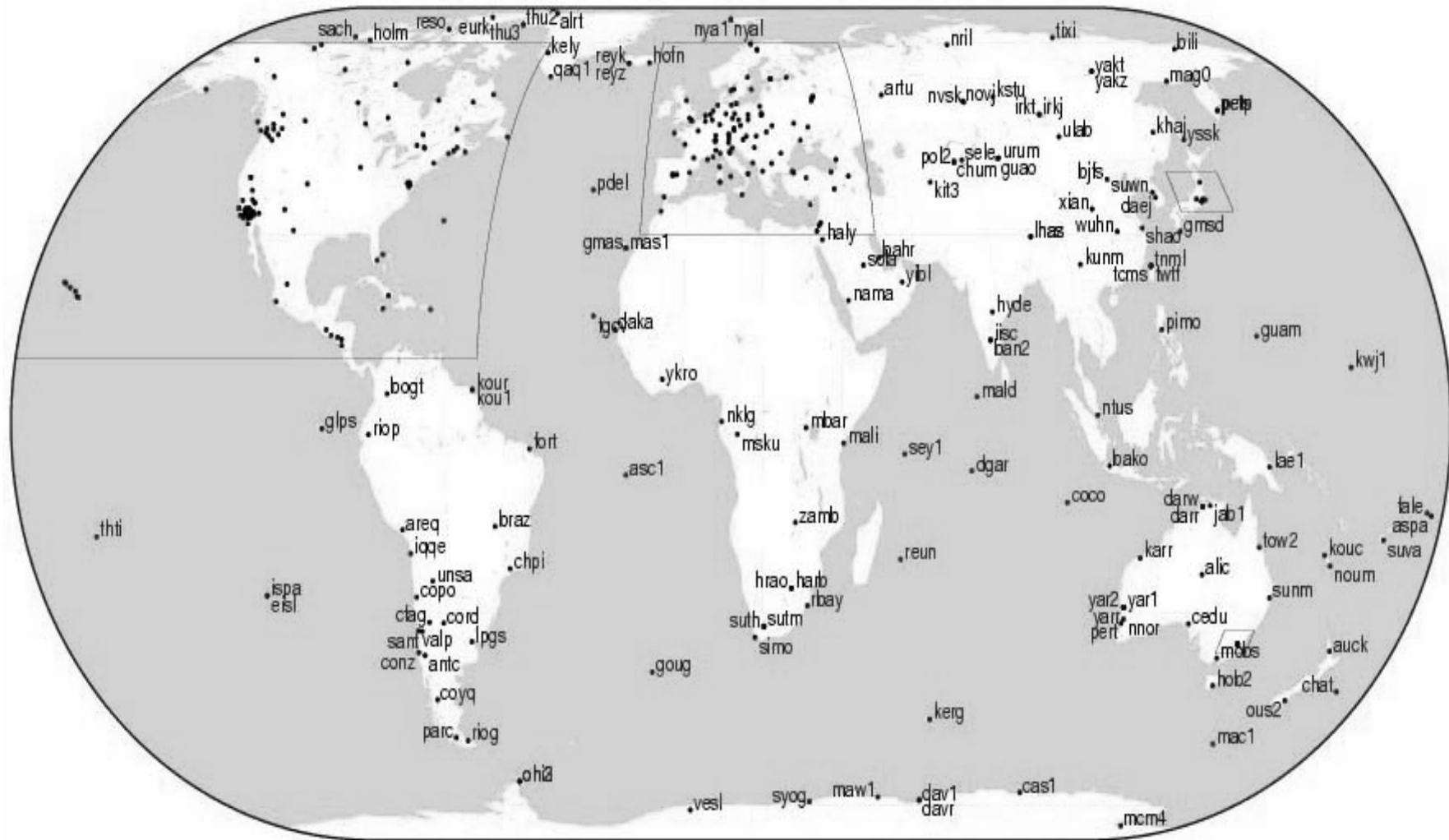


Схема глобальной сети DORIS



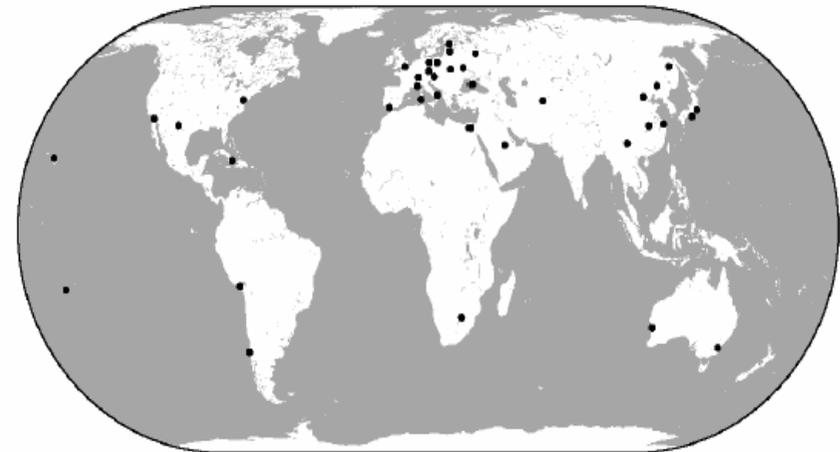
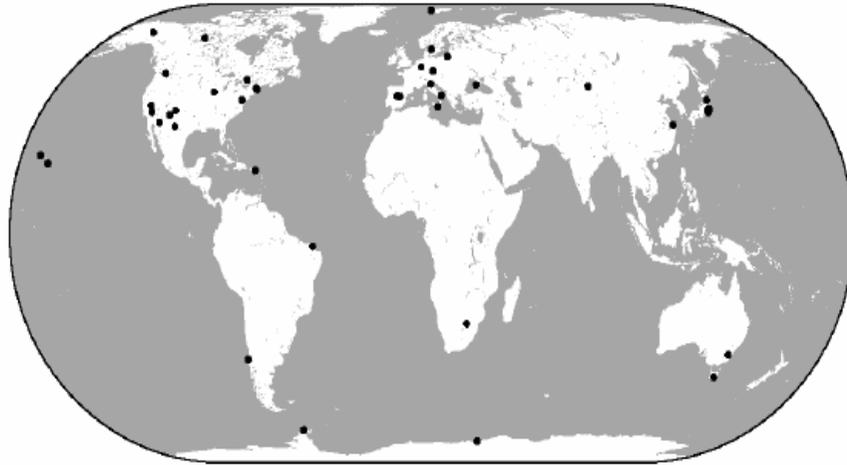
Сагитовские чтения, ГАИШ, МГУ, февраль 2009

Схема глобальной сети IGS



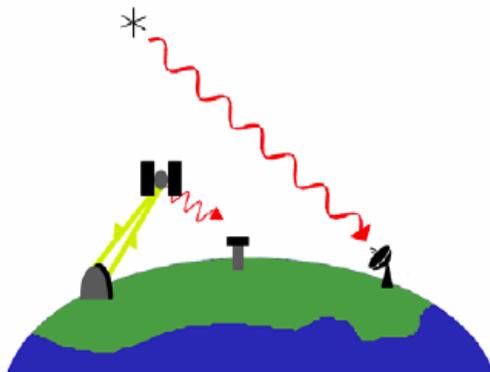
Сагитовские чтения, ГАИШ, МГУ, февраль 2009

Space Geodetic Networks of IVS, ILRS and IGS

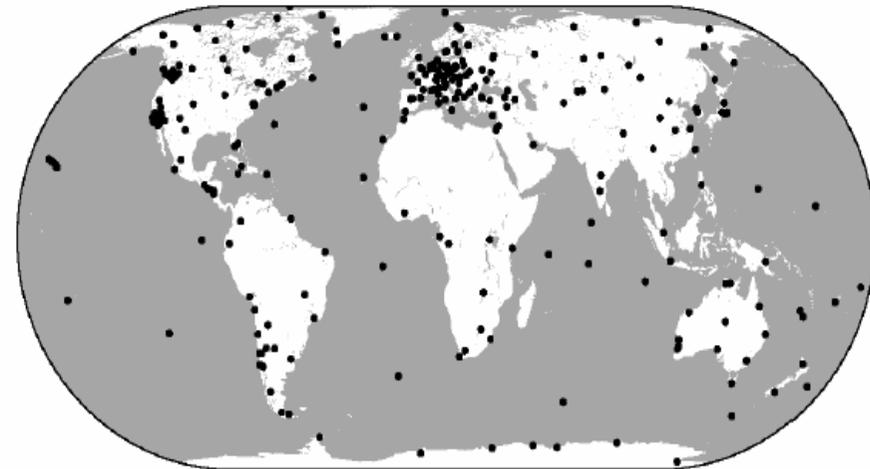


VLBI

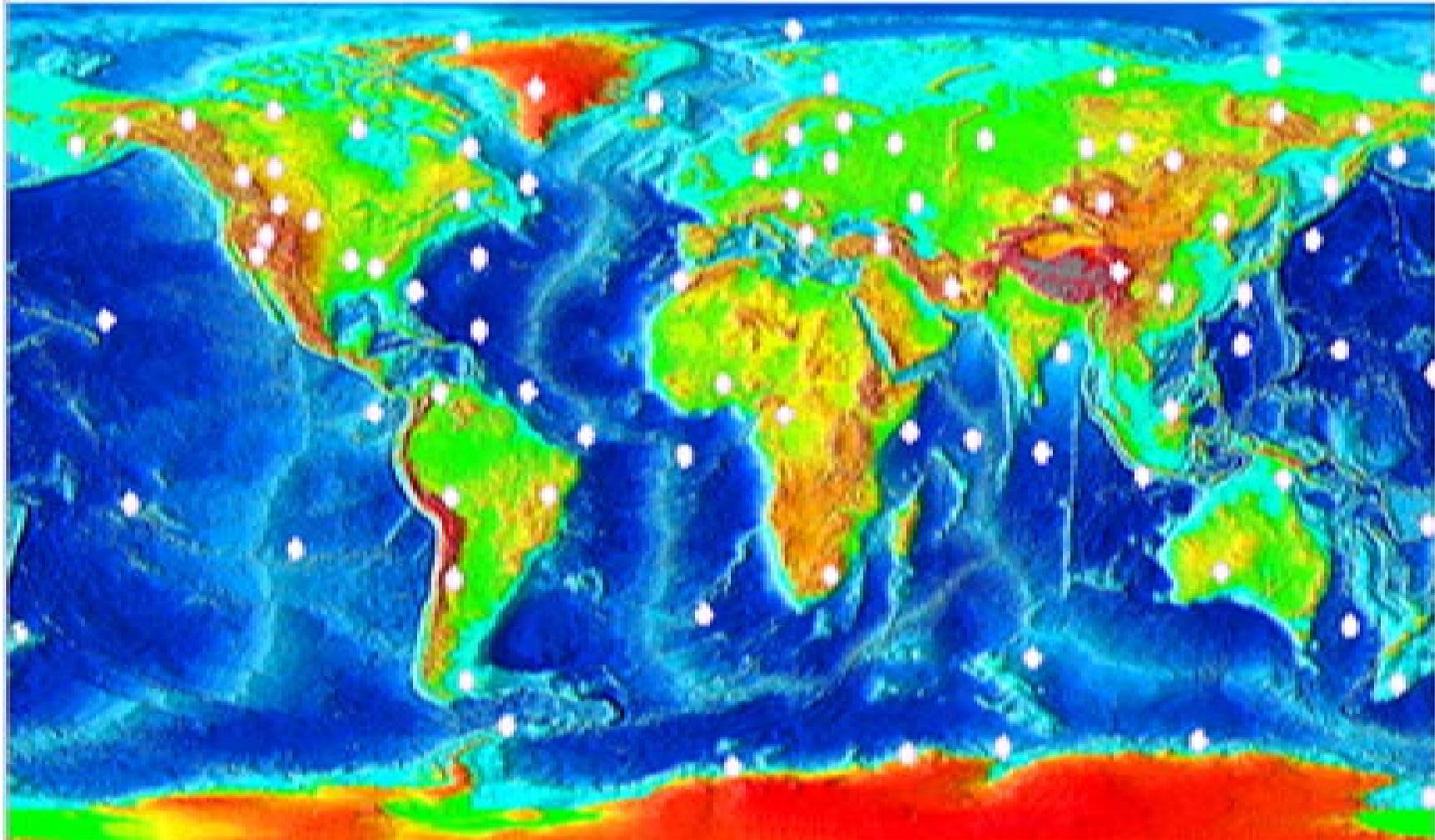
SLR



GPS

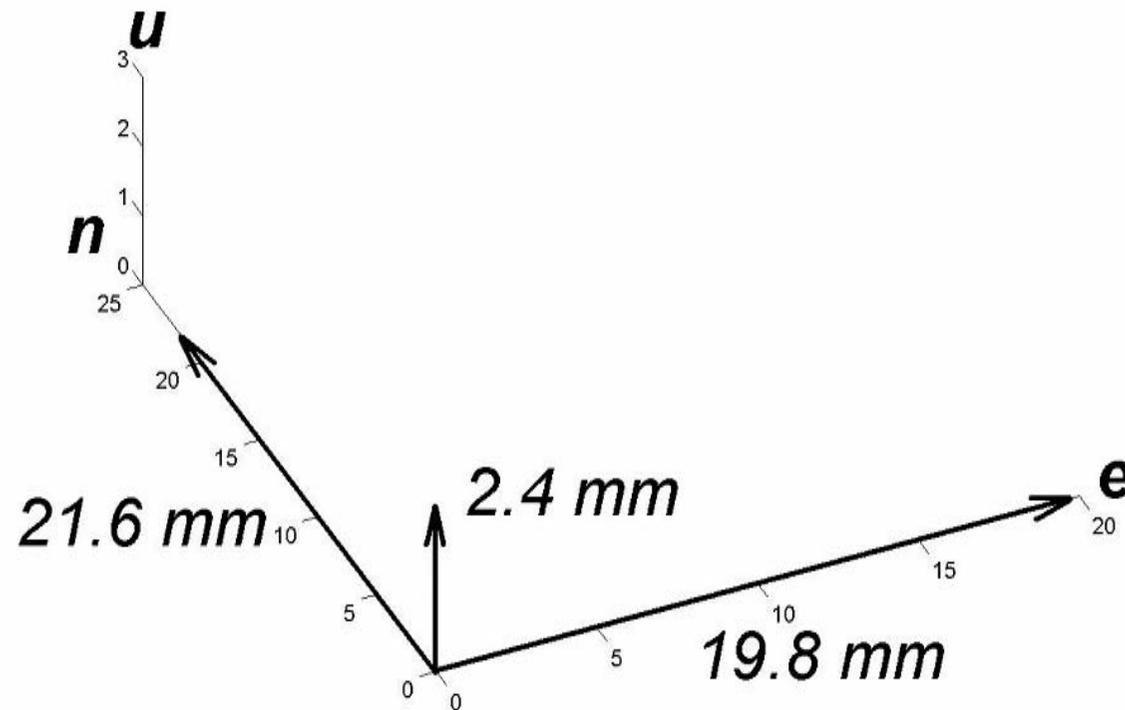


Сформированная сеть пунктов GPS



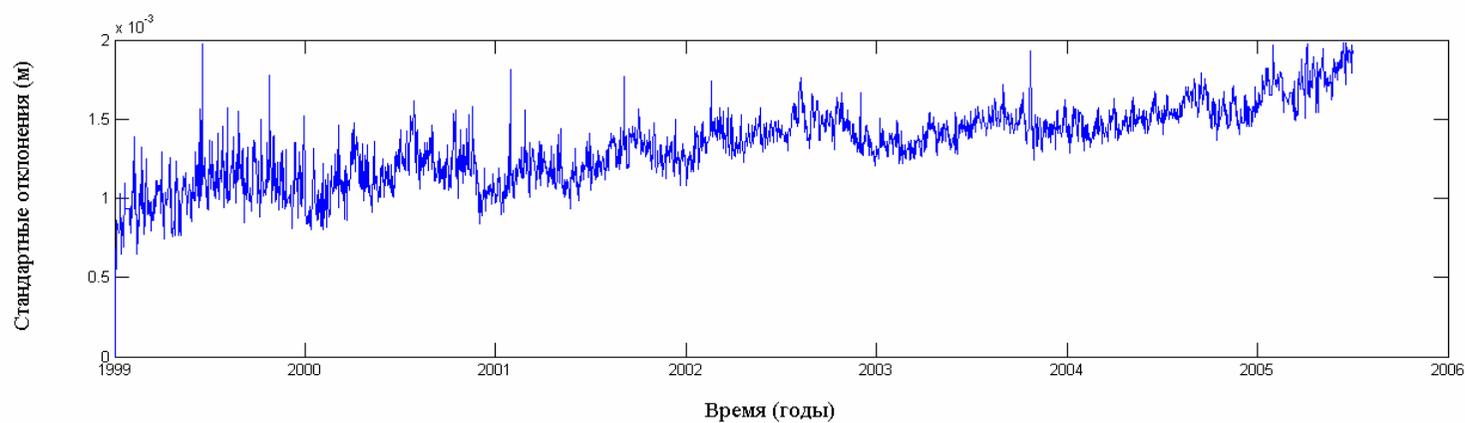
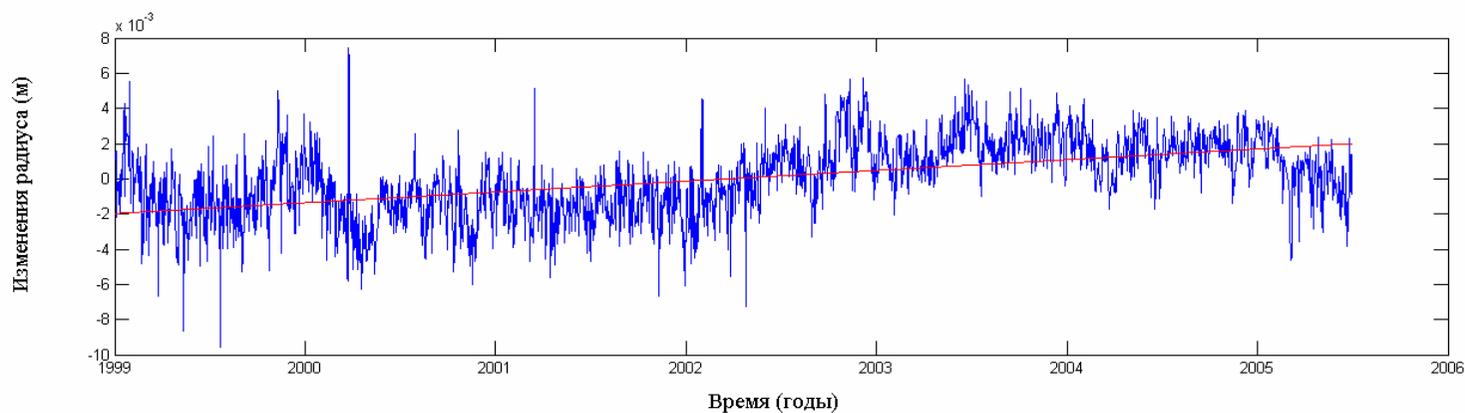
Сагитовские чтения, ГАИШ, МГУ, февраль 2009

Сравнение эмпирических стандартов скоростей горизонтальных и вертикальных движений пунктов глобальной геодезической сети

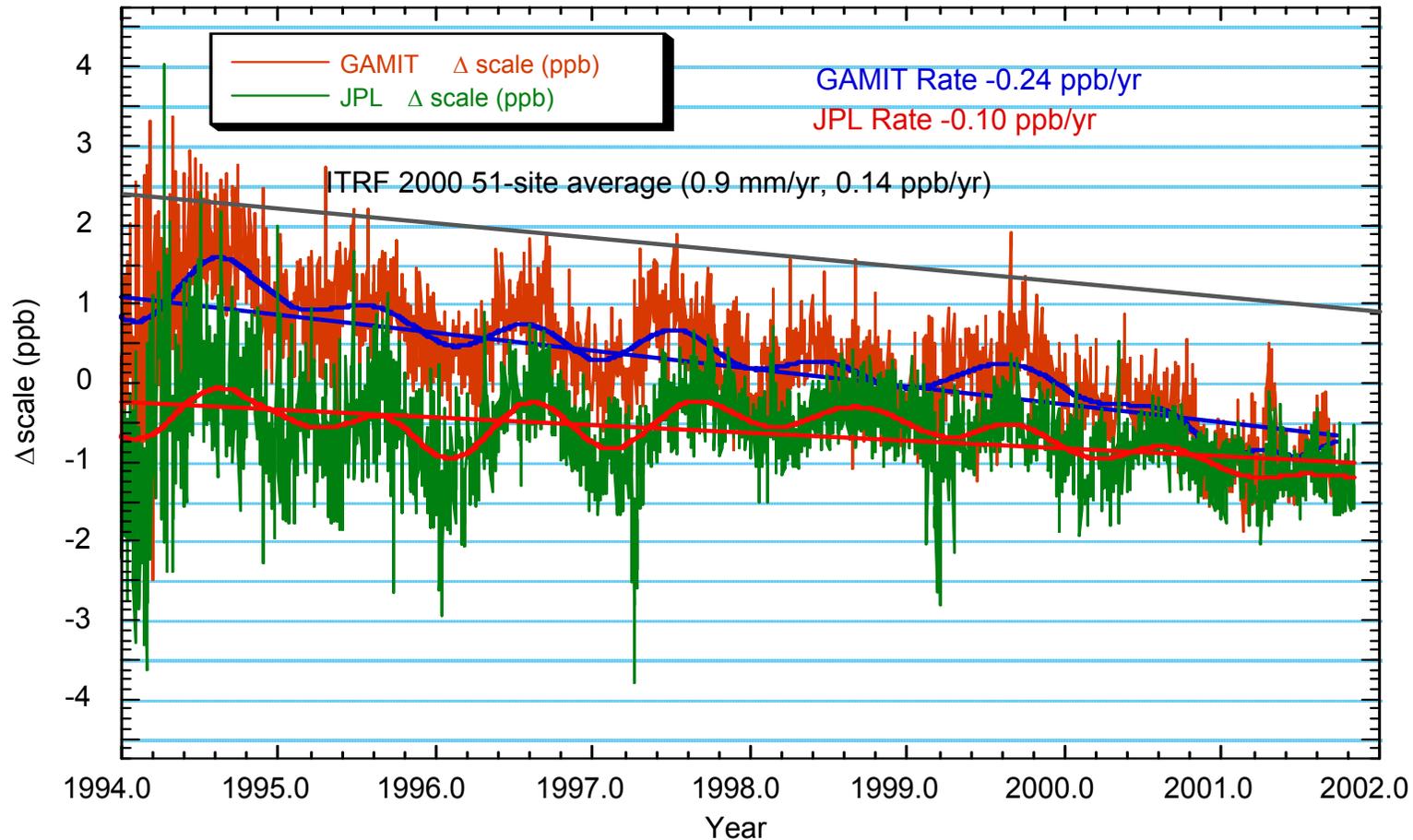


Скорость изменения среднего радиуса Земли

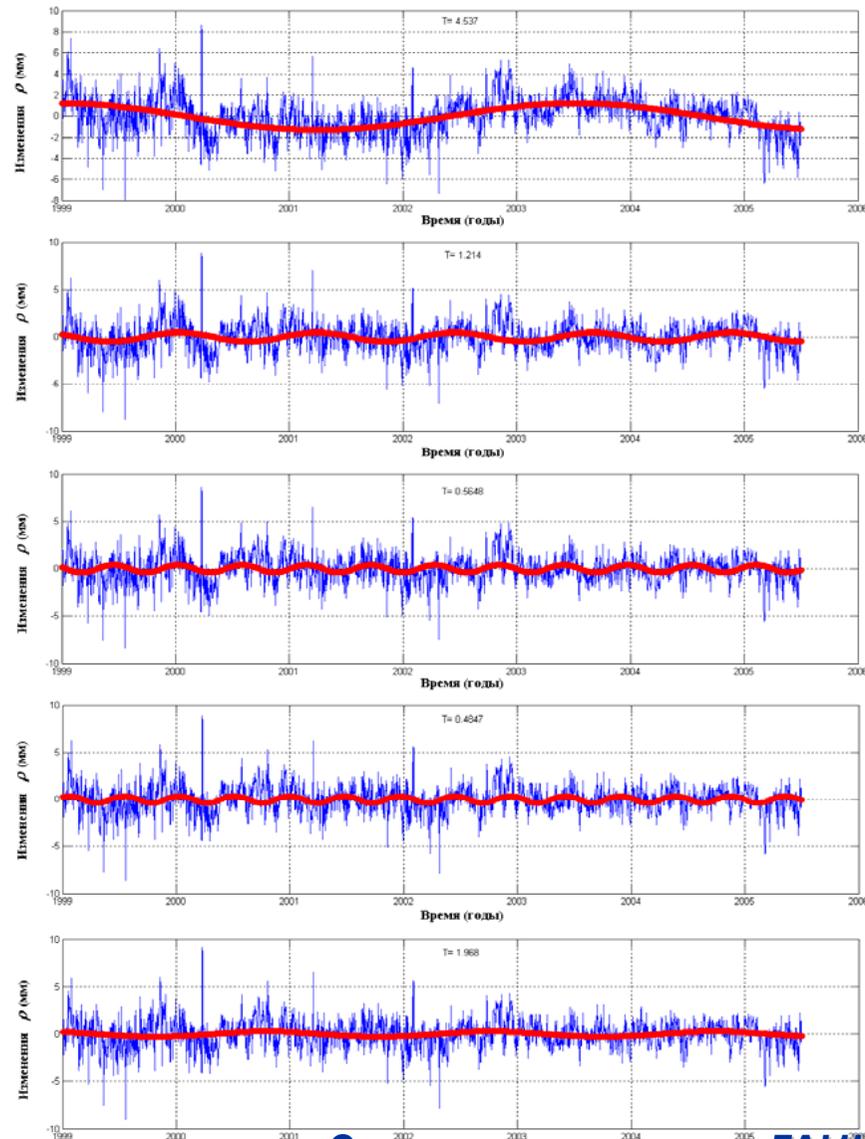
$$V_r = 0.61 \pm 0.02 \text{ мм/год}$$



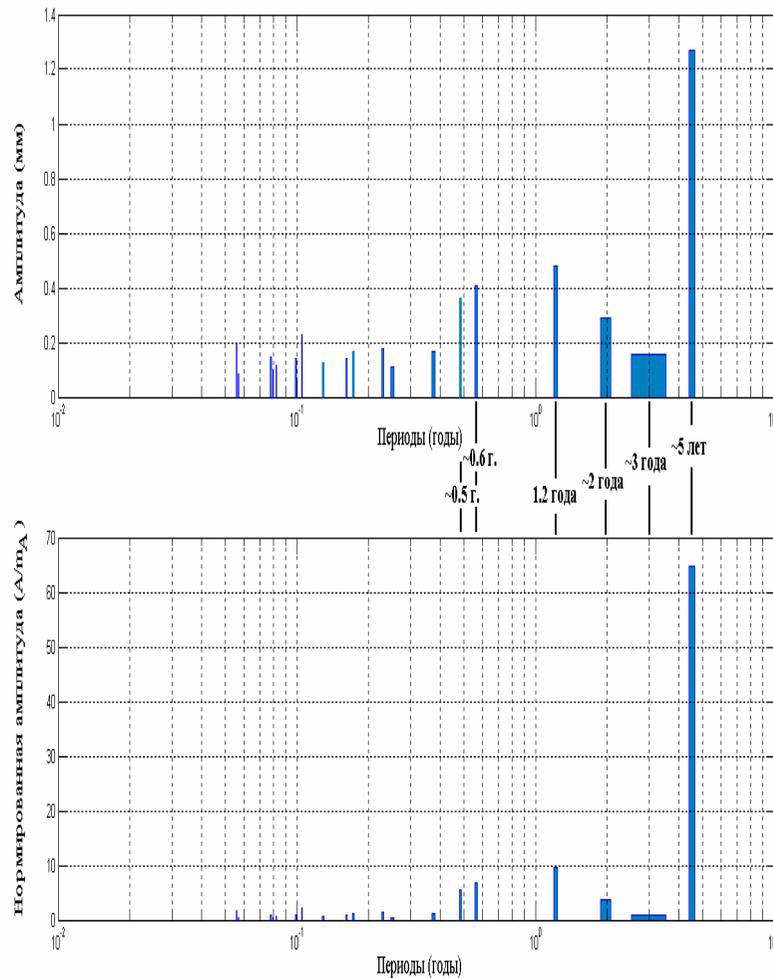
Временные вариации масштаба ITRF00 [Herring Th. (2002)]. JPL- 0.6 мм/год, РСДБ- 0.12 мм/год



Первые высокоамплитудные синусоидальные компоненты колебательных изменений среднего радиус-вектора (амплитуды от 0.5 до 4.5 лет)



Спектры колебаний изменений среднего радиус-вектора: амплитудный (вверху) и нормированный амплитудный (внизу)



Все высокоамплитудные гармоники находят аналоги в приливных колебательных изменениях земной поверхности. Наибольшую амплитуду имеет околупятилетняя гармоника, но она имеет самую низкую надежность ее определения. Отметим, что околוגодовая компонента в нашем случае более близка к Чандлеровской волне, чем к сезонной. Имеются также и околomesячные колебательные компоненты, близкие к теоретическим приливным аналогам.

Вычисление изменений большой и малой полуосей

$$r_0 = ab \left(a^2 \sin^2 \Phi_0 + b^2 \cos^2 \Phi_0 \right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$\frac{\partial a}{\partial r} = \frac{r_{cp}^3 \times \cos^2 \Phi^2}{a_0^3} \quad \frac{\partial b}{\partial r} = \frac{r_{cp}^3 \times \sin^2 \Phi^2}{b_0^3}$$

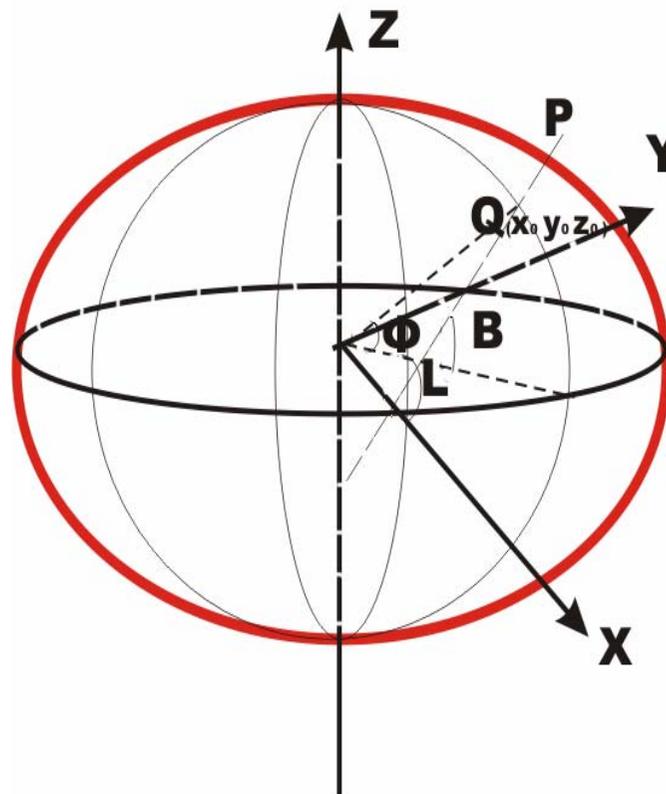
$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial a}{\partial r_1} & \frac{\partial b}{\partial r_1} \\ \frac{\partial a}{\partial r_2} & \frac{\partial b}{\partial r_2} \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \frac{\partial a}{\partial r_n} & \frac{\partial b}{\partial r_n} \end{bmatrix}$$

$$l = [R_0 - R_i]$$

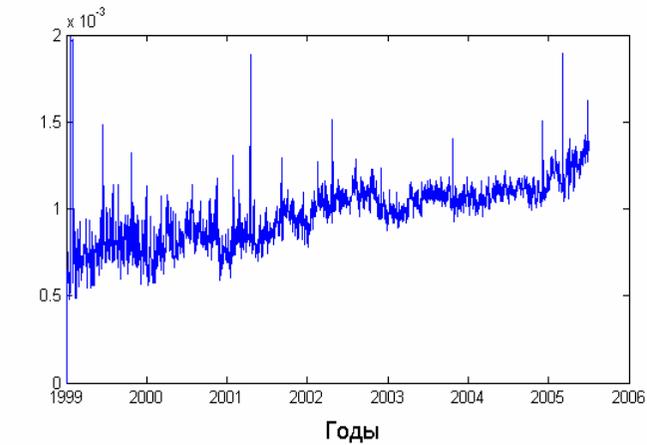
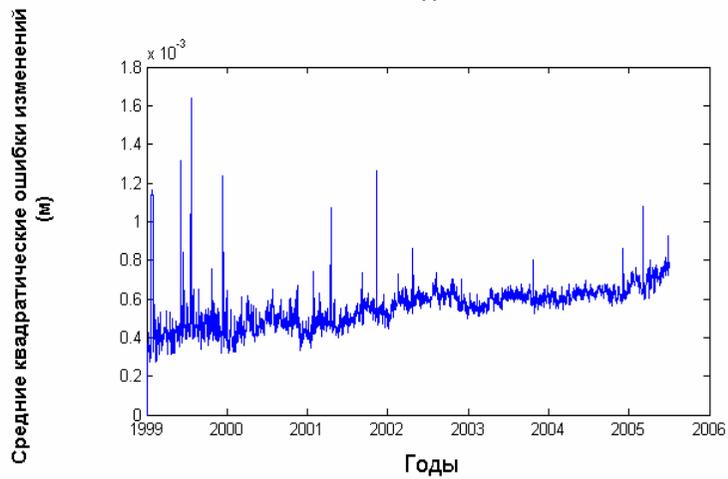
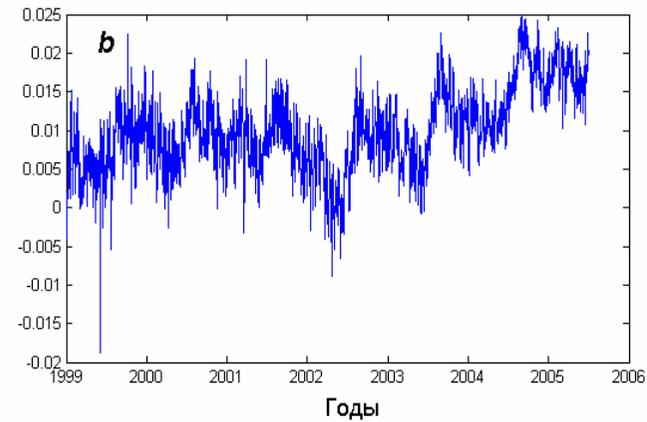
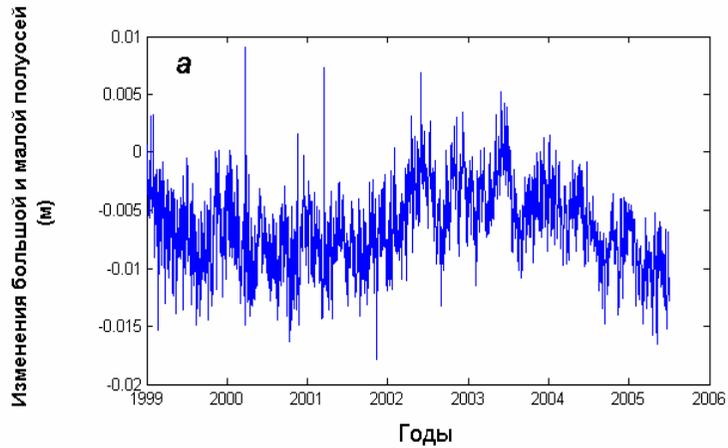
$$x = [da_i \quad db_i]^T = -(A^T A)^{-1} A^T l$$

$$v = A \times x + l$$

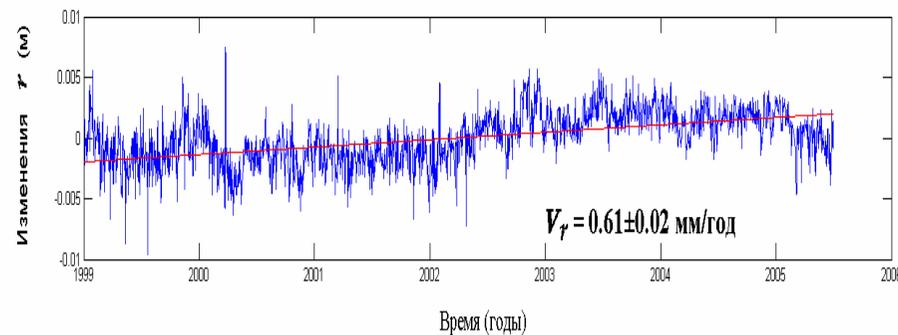
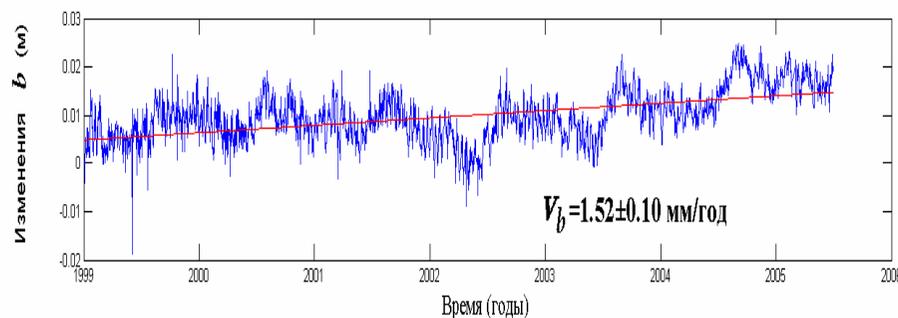
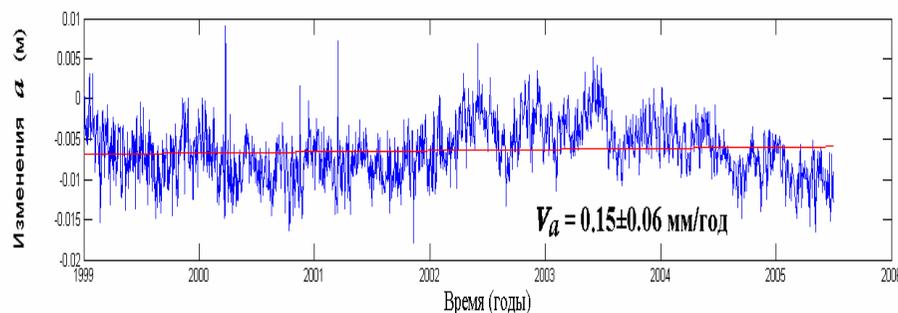
$$m^2 = \frac{[v^2]}{n-2} \quad m_{x_i} = \frac{m}{\sqrt{Q_{ii}}}$$



Графики изменений большой и малой полуосей

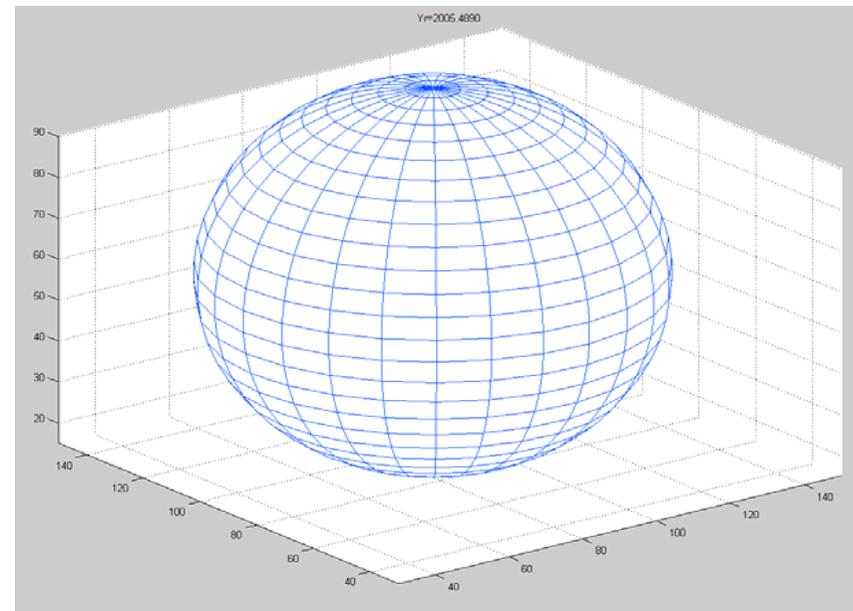
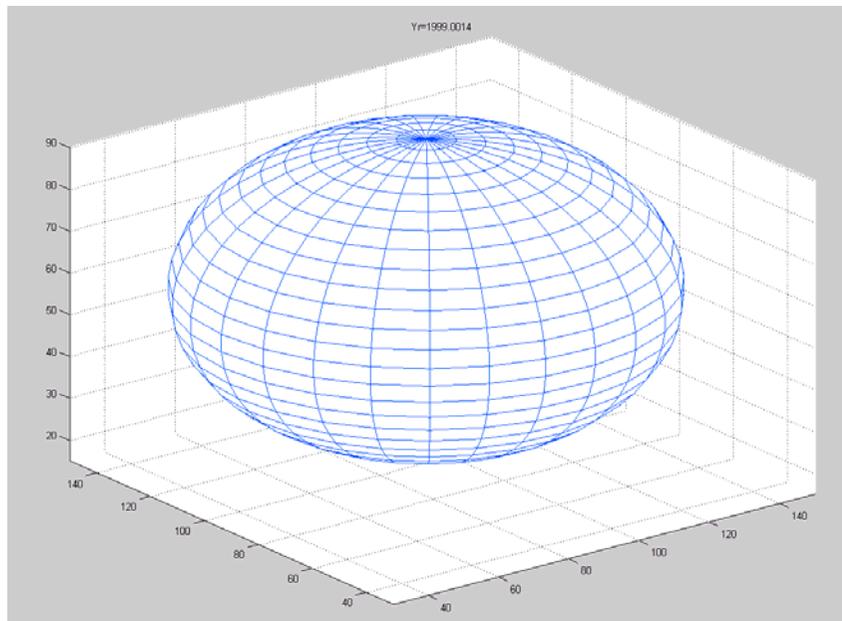


Сравнение изменений большой и малой полуосей геометрического эллипсоида

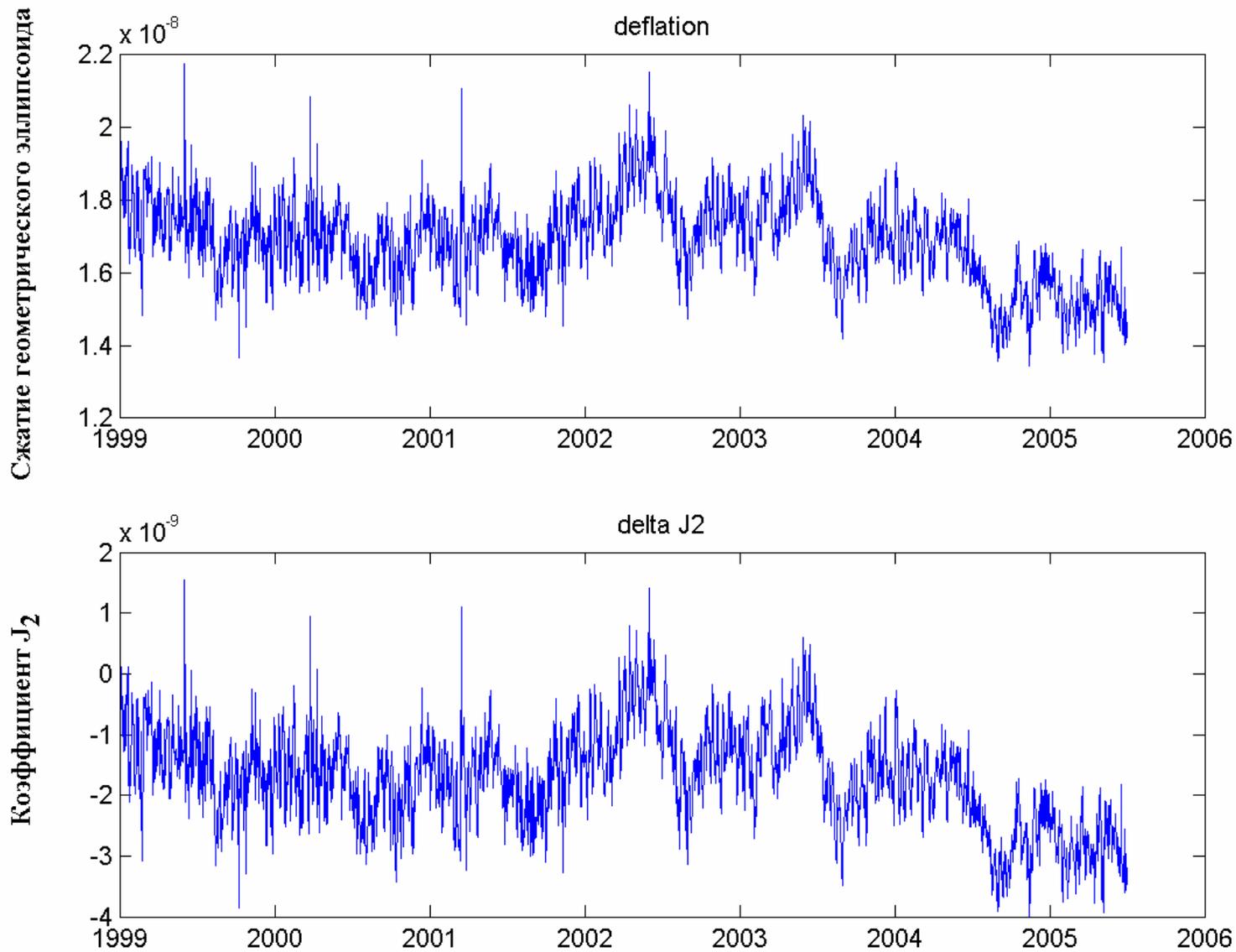


- ❖ Почти зеркальная симметрия в рядах изменений большой и малой полуосей ($r = -0.5$)
- ❖ Существенно большая скорость изменения малой полуоси по сравнению с большой, а также более явное, чем у среднего радиус-вектора наличие периодических колебательных компонент в изменениях длин полуосей подтверждает предположение о возможно приливном механизме наблюдаемых колебаний

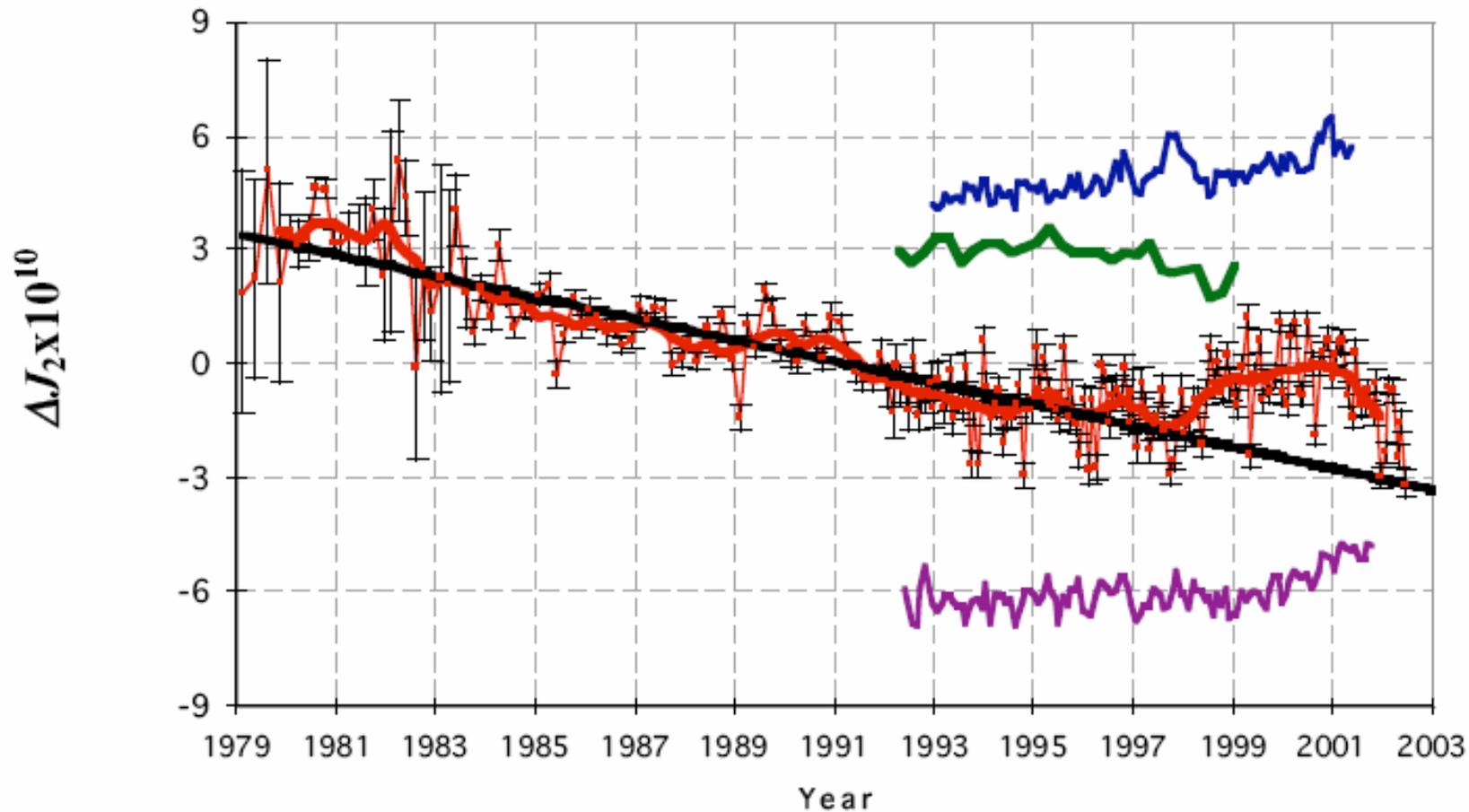
Качественное сравнение формы геометрического эллипсоида в начале и в конце исследуемого периода (противоречие приливной теории в отношении увеличения сжатия за счет постоянного прилива [П.Мельхиор, 1968])

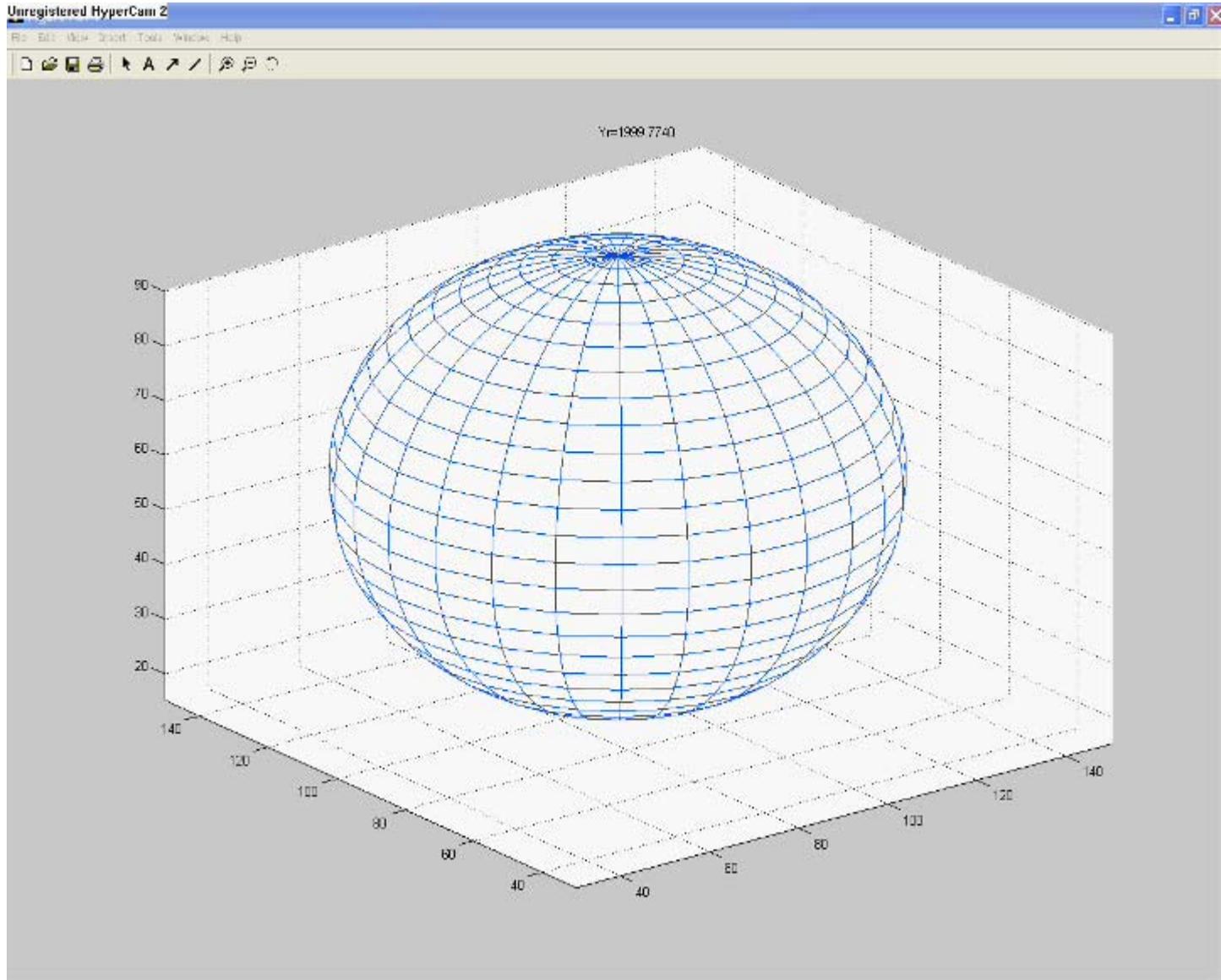


Временной ряд изменений сжатия и гармонического коэффициента J_2

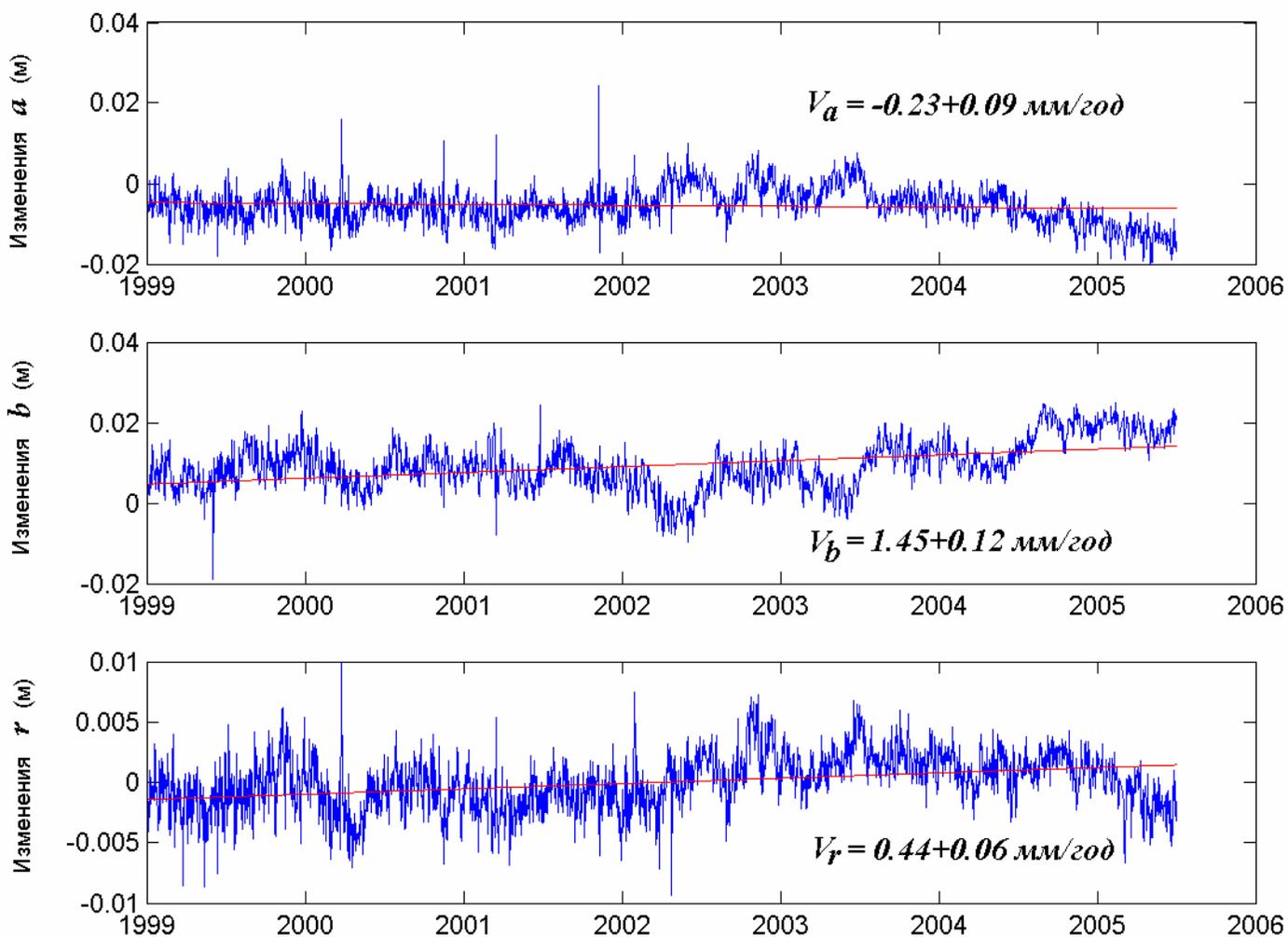


**Временной ряд изменений гармонического
коэффициента J_2 по наблюдения Lageos
[Cox С.М. , Chao В.Ф., 2002]**

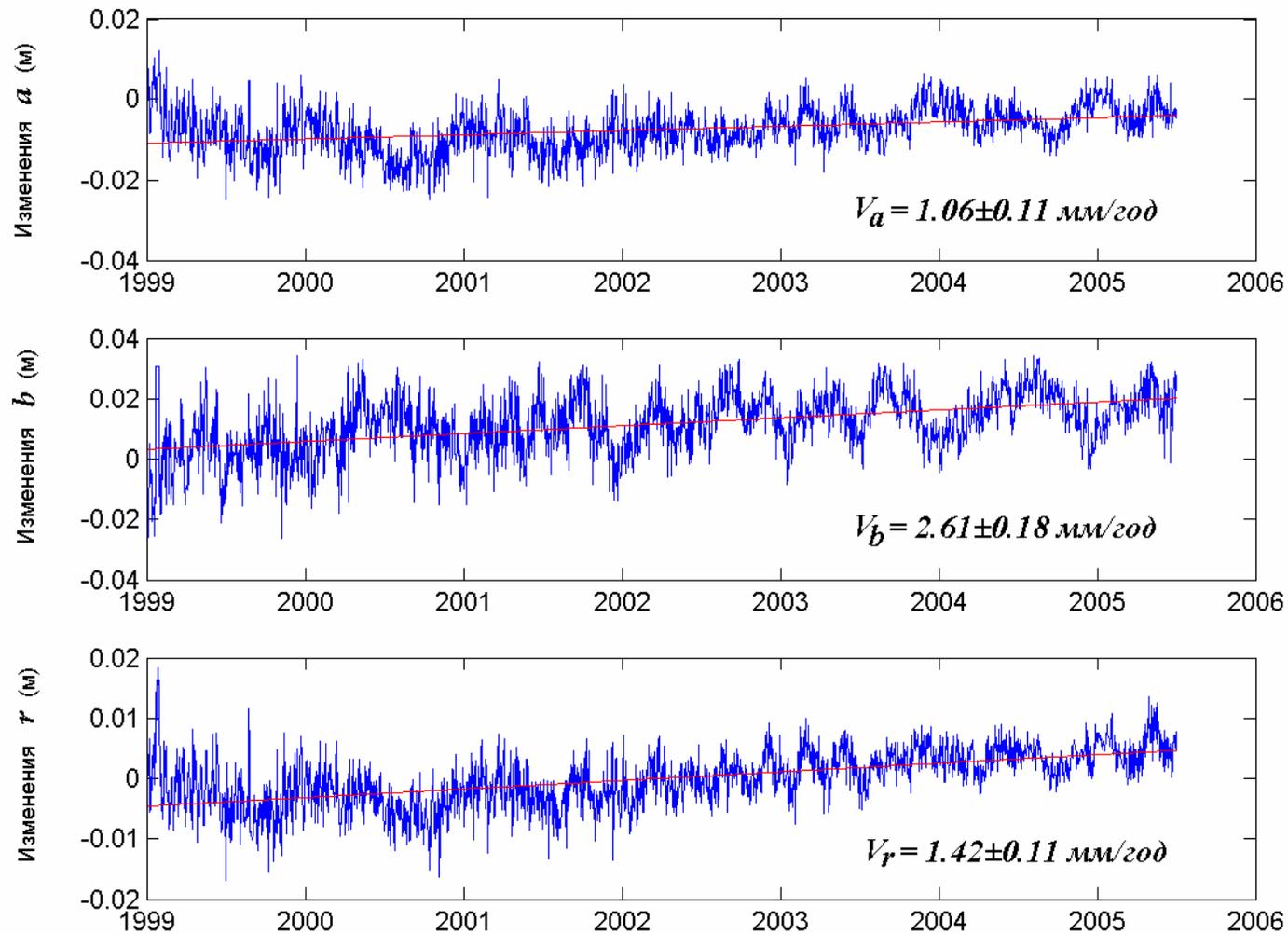




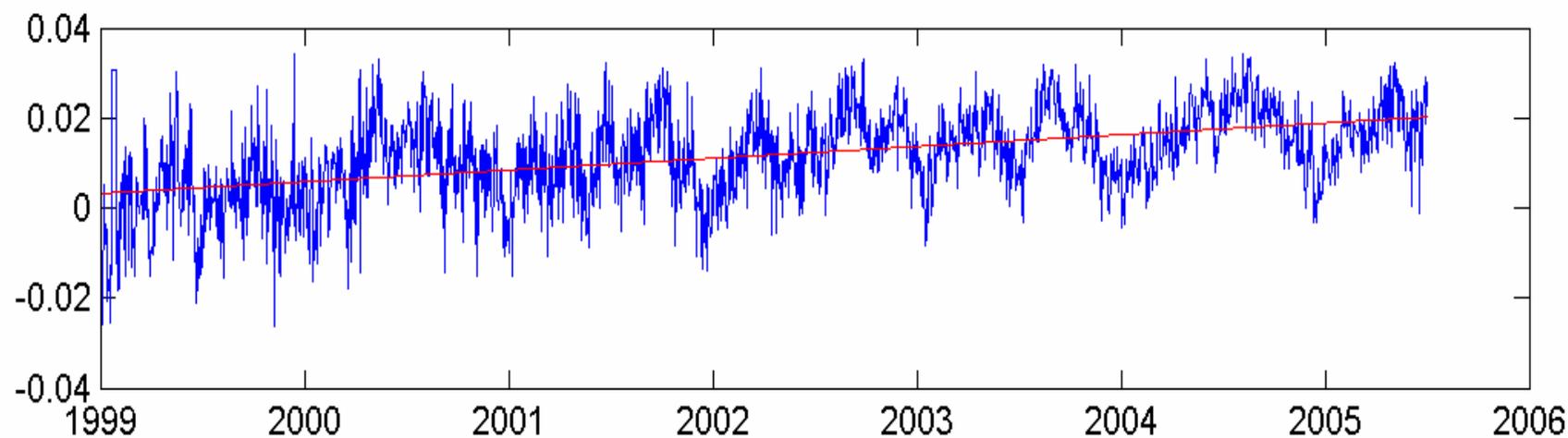
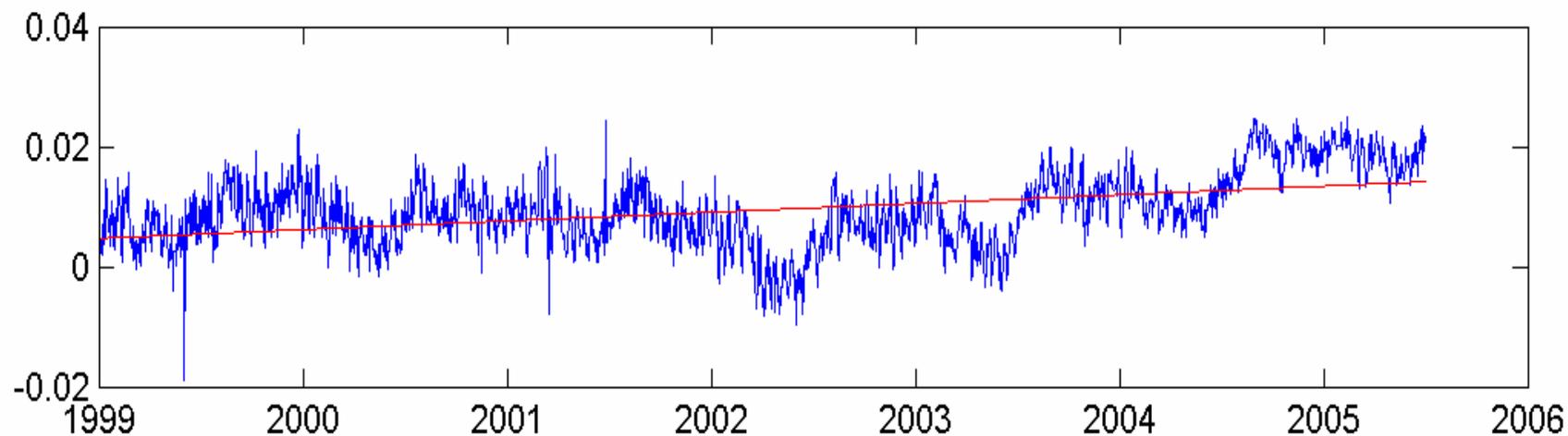
Изменения полуосей и среднего радиуса северного полушария



Изменения полуосей и среднего радиуса южного полушария



Изменения малых (полярных) полуосей северного и южного полушарий (наблюдается положительная корреляция)



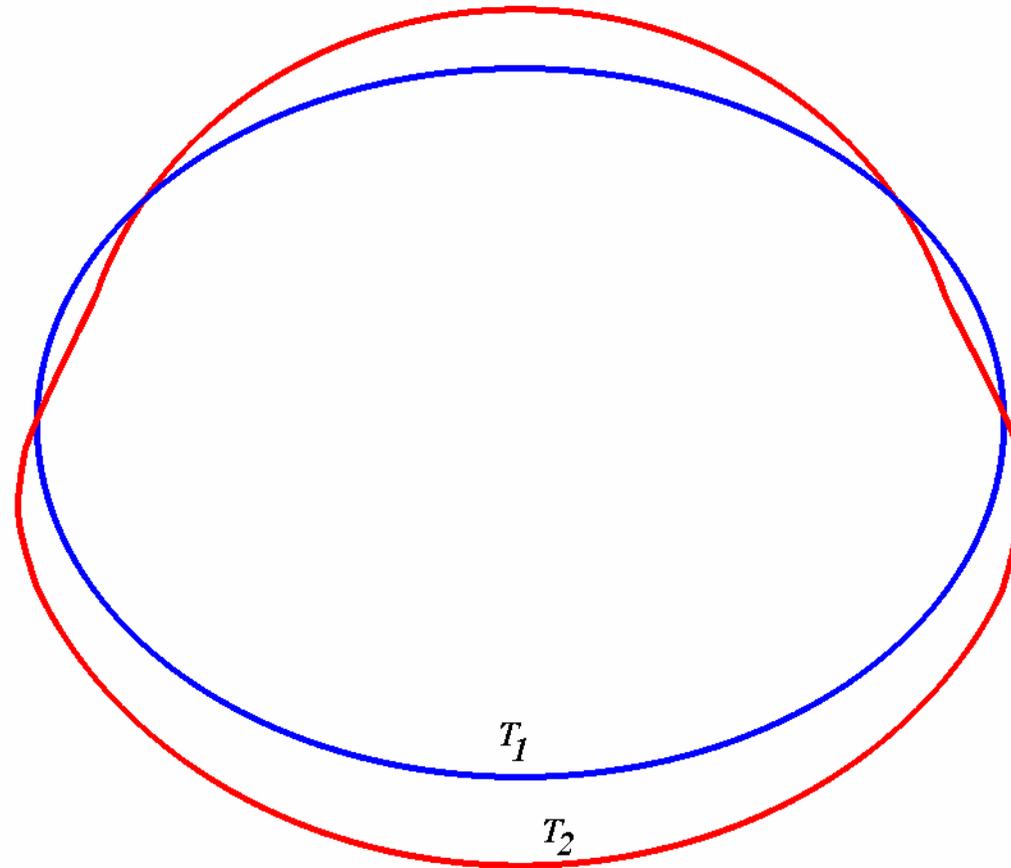
Скорости радиальных изменений полушарий и Земли в целом

| Территория исследований | Скорости изменений и соответствующие стандартные отклонения (мм/год) | | |
|-------------------------|--|---------------|----------------|
| | Большая полуось | Малая полуось | Средний радиус |
| Земля в целом | 0.15±0.06 | 1.52±0.10 | 0.61±0.02 |
| Северное полушарие | -0.23±0.09 | 1.45±0.12 | 0.44±0.06 |
| Южное полушарие | 1.06±0.11 | 2.61±0.18 | 1.42±0.11 |

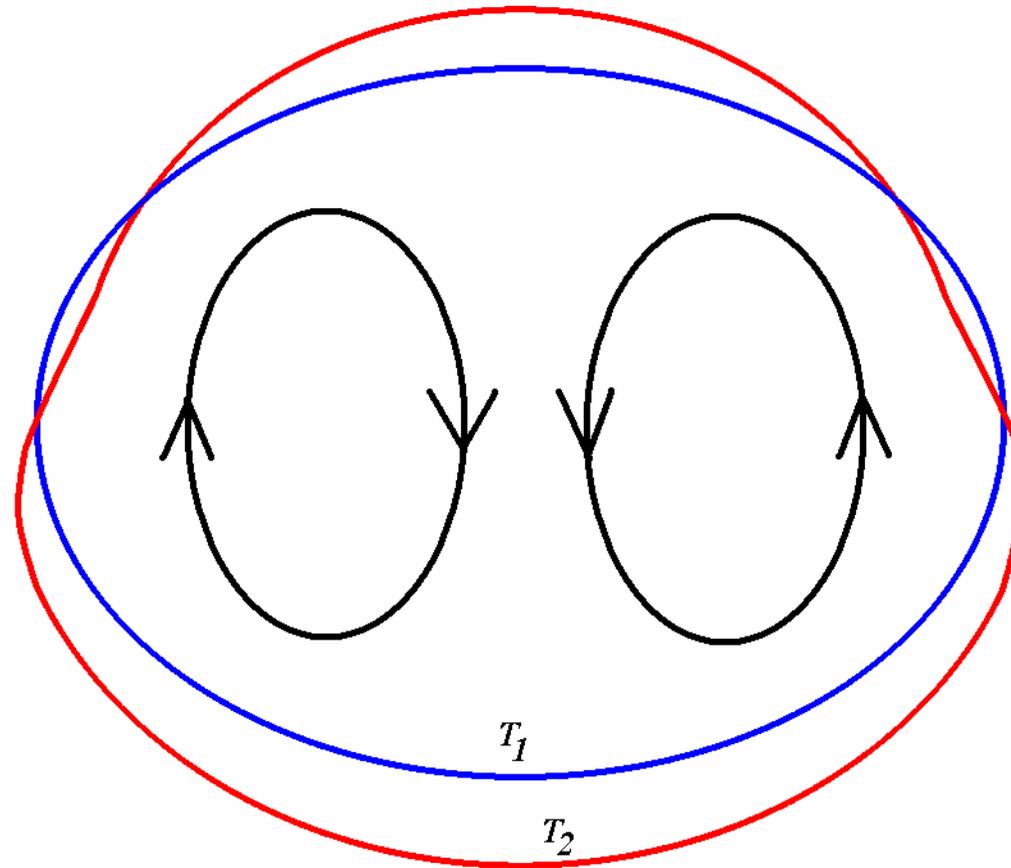
**Корреляция рядов радиальных изменений
северного и южного полушарий**

| Коэффициенты корреляции и соответствующие стандартные отклонения | | |
|---|--------------------------|---------------------------|
| Большая полуось | Малая полуось | Средний радиус |
| $-0.03_{\pm 0.02}$ | $0.17_{\pm 0.02}$ | $0.12_{\pm 0.02}$ |

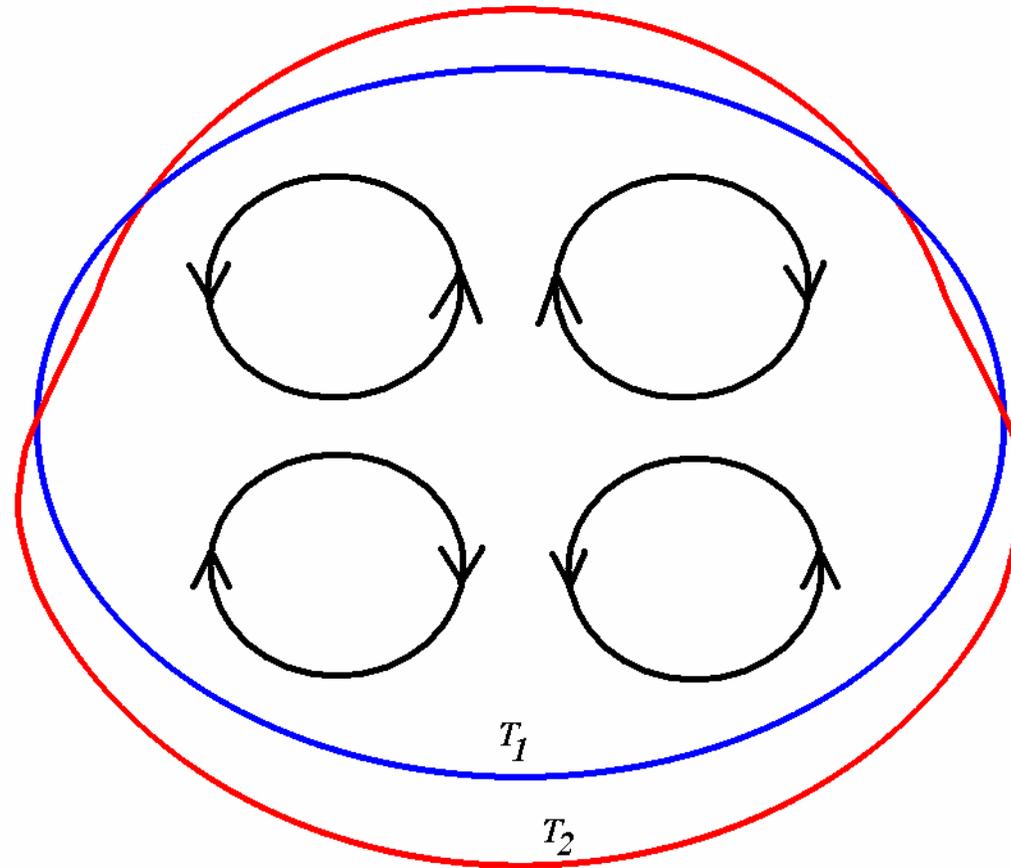
Гипотеза о физических механизмах



Гипотеза о физических механизмах



Гипотеза о физических механизмах



Заключение

- Амплитуды колебаний малой полуоси превышают соответствующие значения для большой полуоси, что согласуется с теорией земных приливов
- Разности периодов колебаний полуосей эллипсоида в целом не превышают собственных стандартных отклонений более чем втрое, что позволяет предполагать их приливную причину
- Нормированные разности фаз этих колебаний $d\varphi/T$ близки к 0.5, что говорит об их противофазном поведении у большой и малой осей
- Постоянное увеличение сжатия не наблюдается
- Скорость увеличения радиуса южного полушария от 1.5 до 5 раз выше, чем северного
- Требуется объяснения линейный рост стандартных отклонений