

Ломоносовские чтения - 2010
Секция астрономии и геофизики
(22 апреля 2010, ГАИШ, МГУ, Москва)

Ю.В. Баркин

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

Решение задачи М.В. Ломоносова «о возможных смещениях притягивающего центра Земли» и фундаментальных проблем небесной механики, геодинамики и геофизики

Фундаментальные проблемы небесной механики, гравиметрии и геодинамики

1. **Вековой дрейф центра масс Земли**
2. **Вековые вариации силы тяжести**
3. **Вариации коэффициентов геопотенциала**
4. **Вековой дрейф полюса оси вращения Земли**
5. **Неприливное ускорение осевого вращения Земли**
6. **Вековое изменение уровня океана**

Решение фундаментальной проблемы геодинамики и геодезии

1. Вековой дрейф центра масс Земли



"... сделал четыре новоизобретенных мною пендула (маятника)... чтобы узнать всегда ли с Земли центр, притягивающий к себе тяжелые тела, стоит неподвижно или перемещает место".

М.В. Ломоносов о смещениях притягивающего центра Земли (из переписки)

В переписке М.В. Ломоносова можно прочитать следующее (Куликовский, 1985):

При помощи этого прибора проводились измерения непрерывно с 1756 года по 1764 год, но так как точность не отвечала требованиям поставленного исследования, М.В. Ломоносов вынужден был констатировать: "колебания силы тяжести столь малы, что упомянутым прибором не могли быть подмечены".

К ВОПРОСУ М.В. ЛОМОНОСОВА О ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ ЦЕНТРА ЗЕМЛИ
*Член-корреспондент РАН Ю.Н. Авсюк
Доктор физ.-мат. наук Б.В. Левин
(РФФИ)*

АСТРОНОМИЯ

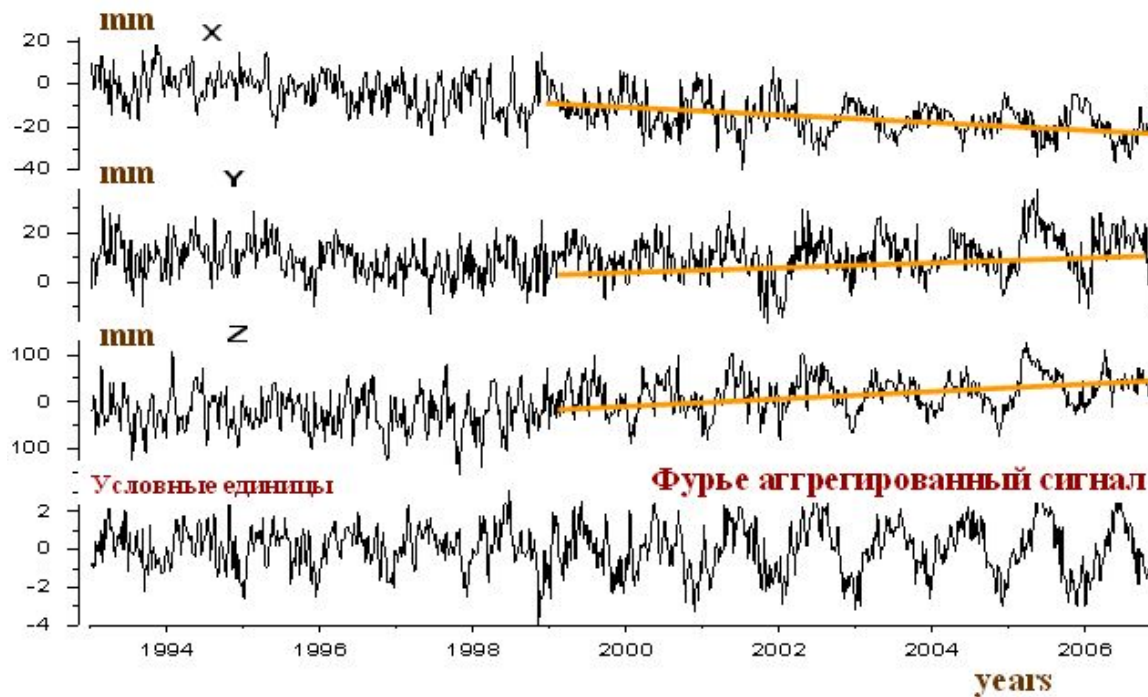
УДК 521.9:521.91

О ДВИЖЕНИИ ЦЕНТРА МАСС ЗЕМЛИ, ОБУСЛОВЛЕННОМ ГЛОБАЛЬНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ ЕЕ ДИНАМИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ПРИЛИВНЫМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ

Ю. В. Баркин
(ГАИШ)

На основе простейшей модели изменяемой Земли изучается смещение ее центра масс по отношению к характерной точке на оси Земли, для которой коэффициент третьей зональной гармоники геопотенциала равен нулю. Вследствие глобального изменения динамического строения Земли скорость векового смещения ее центра масс по направлению к Северному полюсу может достигать 2 см/год. Основное периодическое движение центра масс, обусловленное приливной деформацией Земли, характеризуется амплитудой 8,9 см и периодом 27,32 сут.

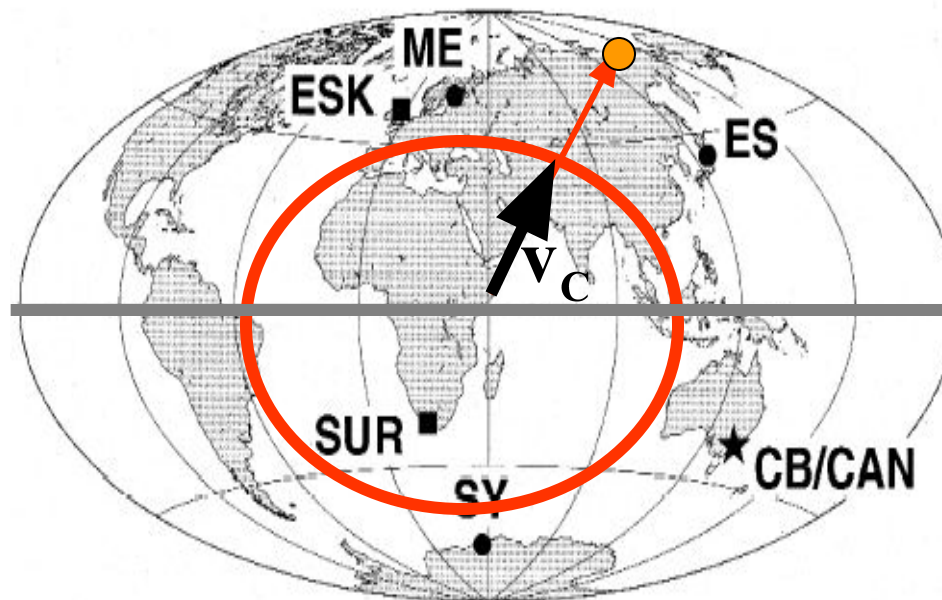
Полярный вековой дрейф центра масс Земли к Северу 5-6 мм/год. По данным DORIS-JPL за 1993-2007.



Параметры векового дрейфа центра масс Земли

Parameters	Theory	Observations	Deviations
v_C	5.4	5.2 ± 0.4	3.6%
φ_C	70^{00}	72^{09}	4.0%
λ_C	104^{03}	115^{07}	9.9%

Вековой тренд центра масс Земли к северу (к п-ву Таймыр)

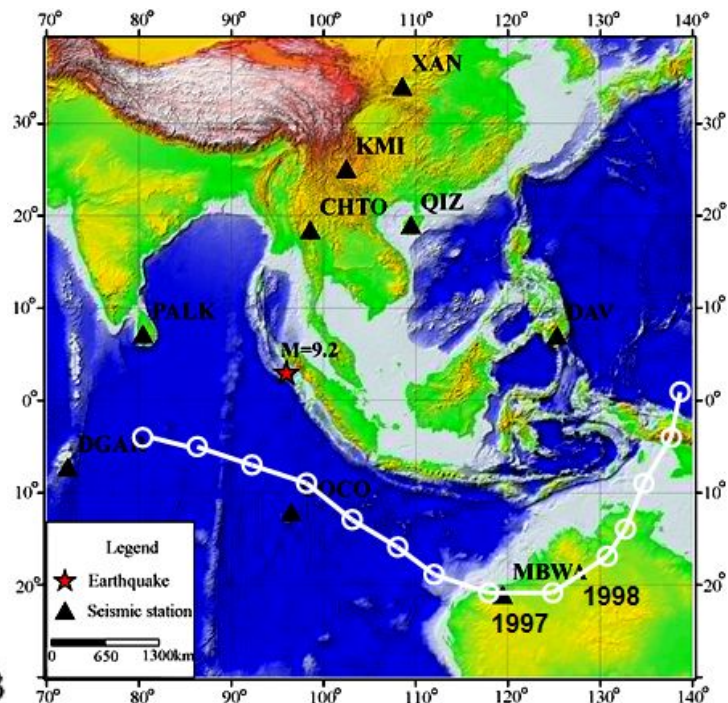
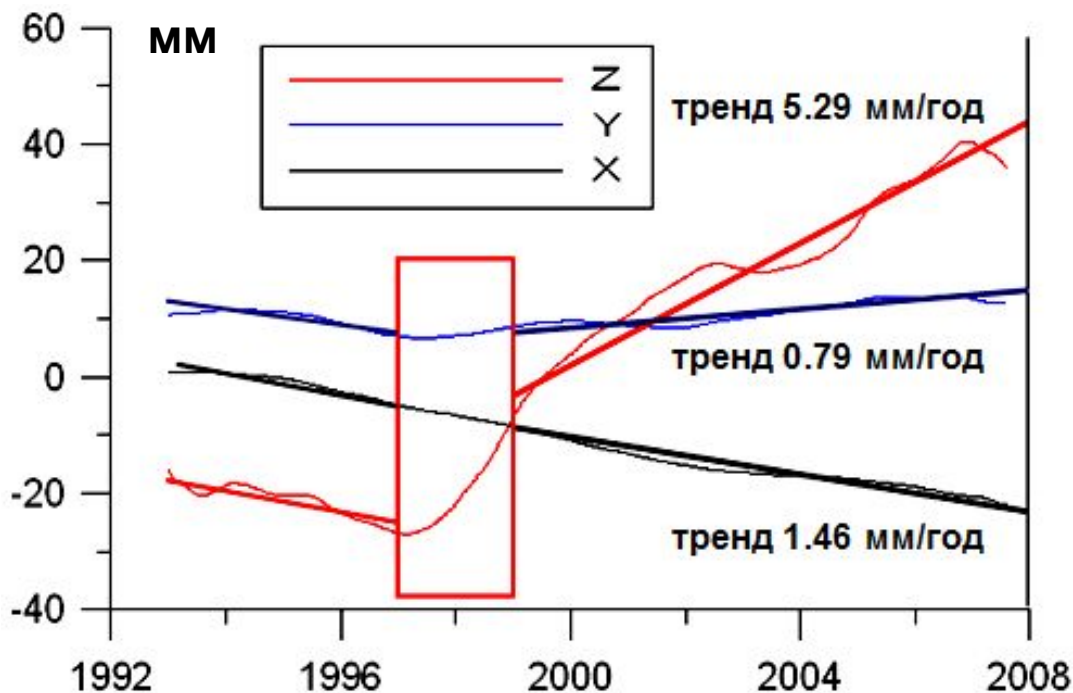


Авторы год	Баркин 1995	Barkin 2001	Gayazov 2003, SLR	Tatevian, Kuzin, Kaftan, 2003, DORIS	Zotov, Barkin, Lyubushin 2008, DORIS
V_C	18 ± 7 мм/год	6.69 мм/год	6.05 мм/год	6.8 мм/год	5.54 мм/год
φ_C с.ш.	$90^{\circ}0$	$70^{\circ}0$	$72^{\circ}9$	$62^{\circ}6$	$72^{\circ}6$
λ_C в.д.	---	$104^{\circ}3$	$115^{\circ}7$	$190^{\circ}9$	$118^{\circ}4$

Table 5. Values of components of velocity of drift of the Earth centre of mass in the Greenwich terrestrial system of coordinates (in mm / yr).

N	\dot{x}_G mm/yr	\dot{y}_G mm/yr	\dot{z}_G mm/yr	Base data of observations	Authors, year
1	---	---	10-20	Theory of change of the Earth pear-shaped form	Barkin (1995)
2	0.3 ± 1.5	-2.4 ± 2.0	5.1 ± 4.4	LAGEOS 1,2 (1991-1994)	Montag (1997)
3	-1.9 ± 0.1	0.1 ± 0.1	5.1 ± 0.4	IGN/JPL DORIS	Tatevian, Kuzin (2003)
4	-1.2 ± 0.1	0.4 ± 0.1	3.7 ± 0.5	INASAN DORIS	Tatevian, Kuzin (2003)
5	-0.2 ± 0.1	-1.6 ± 0.1	3.8 ± 0.2	JPL GPS	Tatevian, Kuzin (2003)
6	-0.3 ± 0.1	-2.2 ± 0.1	4.8 ± 0.2	GPS	Tatevian, Kuzin (2003)
7	-1.75 ± 0.07	0.24 ± 0.08	5.20 ± 0.37	DORIS	Barkin, Zotov, Lubushin (2007)

Тренд центра масс Земли в мантийной системе координат и его следа на поверхности Земли



Координата	A, мм/год	RMS, мм/год	B, мм	RMS, мм
X	-1.75	0.06	2.16	0.47
Y	0.27	0.06	8.40	0.48
Z	5.24	0.29	-33.83	2.43

$$Z = A \cdot t + B \quad (\text{Zotov, Barkin, Lyubushin, 2008})$$

Решение фундаментальной проблемы геодинамики и гравиметрии

2. Вековые вариации силы тяжести

Дрейф центра масс к северному полюсу и вариации силы тяжести, на станциях, расположенных в северном и южном полушариях

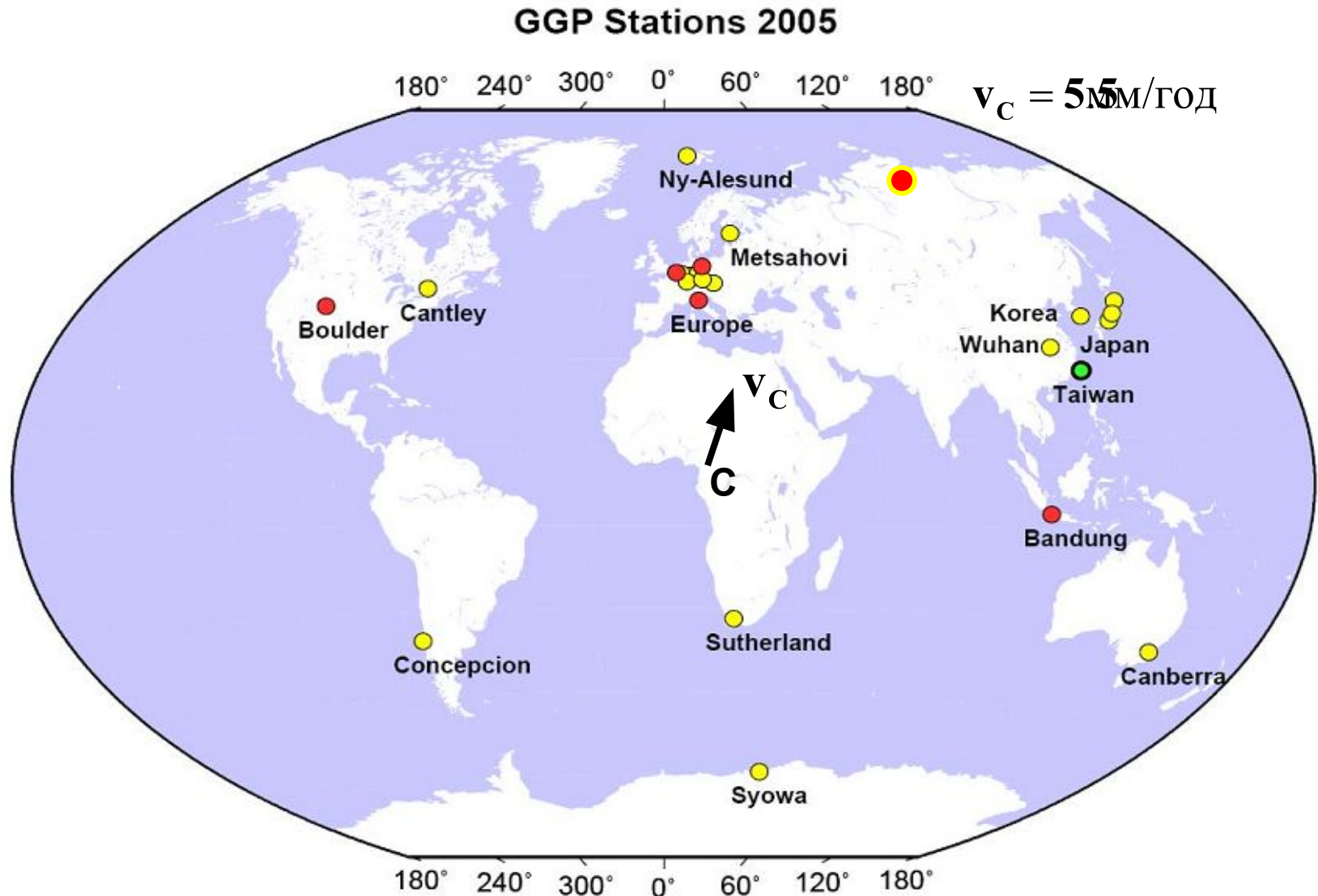


Таблица 1. Вековые вариации силы тяжести (в $\mu\text{Gal}/\text{год}$) и вариации высот (в $\text{мм}/\text{год}$) на гравиметрических станциях мира, обусловленные вековым дрейфом центра масс Земли. (Баркин, 2009)

N	Ab.	Station	Country	φ ($^\circ$)	λ ($^\circ$)	\dot{g}_C ($\mu\text{Gal}/\text{yr}$)	\dot{h}_C (mm/yr)
1	NY	Ny-Alesund	Norway	78.93	11.87	+1.61±0.09	-5.06±0.30
2	ES	Esashi	Japan	39.15	141.33	+1.41±0.08	-4.50±0.25
3	CH	Churchill	Canada	58.77	-94.17	+1.38±0.09	-4.41±0.28
4	KA	Ramioka	Japan	36.43	137.31	+1.35±0.08	-4.29±0.24
5	MA	Matsuchiro	Japan	36.54	138.21	+1.35±0.08	-4.31±0.24
6	KELY	Kellyville	Greenland	67.01	-50.71	+1.35±0.09	-4.31±0.30
7	MG	MunGyung	S. Korea	36.64	128.21	+1.31±0.08	-4.16±0.24
8	KY	Kyoto	Japan	35.03	135.79	+1.31±0.07	-4.18±0.24
9	KULU	Kulusuk	Greenland	65.57	-37.18	+1.30±0.04	-4.13±0.30
10	VA	Vaasa	Finland	63.10	21.60	+1.25±0.09	-3.98±0.29
11	IF	Intern. Falls	Canada	48.59	-93.41	+1.20±0.08	-3.82±0.26
12	ME	Metsahovi	Finland	60.22	24.40	+1.20±0.09	-3.81±0.29
13	MO	Moxa	Germany	59.65	11.62	+1.16±0.09	-3.68±0.29
14	WU	Wuhan	China	30.52	114.49	+1.10±0.07	-3.50±0.22
15	CA	Cantley	Canada	45.59	284.19	+1.02±0.08	-3.26±0.26
16	HS	Hsinchu	Taiwan	24.79	120.97	+1.01±0.06	-3.23±0.20
17	SS	Sunspot NM	USA	32.77	-105.82	+0.95±0.07	-3.02±0.22
18	PE	Pecny	Czech Rep.	49.92	14.78	+0.93±0.09	-2.97±0.27
19	BH	Bad Homburg	Germany	50.23	8.61	+0.93±0.08	-2.95±0.27
20	MB	Membach	Belgium	50.61	6.01	+0.93±0.08	-2.97±0.27

$$\dot{g}_C = 2g[x_C \cos \varphi \cos \lambda + y_C \cos \varphi \sin \lambda + z_C \sin \varphi] / r_\oplus, \quad \dot{h}_C = -\dot{x}_C \cos \varphi \cos \lambda - \dot{y}_C \cos \varphi \sin \lambda - \dot{z}_C \sin \varphi$$

Таблица 1. Теоретические и наблюдаемые значения вековых вариаций силы тяжести, обусловленных вековым движением центра масс Земли, деформацией поверхности в районе станции и полный (теоретический) эффект в сравнении с наблюдаемыми вариациями силы тяжести.

Station	Contribution of center of mass trend (μGal/yr)	Contribution of deformation of surface (μGal/yr)	Total effect in gravity variation (μGal/yr)	Observed variations of gravity (μGal/yr)
Ny-Alesund	+1.61±0.09	-3.76±0.38	-2.2±0.5	-2.5±0.9
Syowa	-1.67±0.10	+0.86±0.17	-0.8±0.3	-0.3±0.4
Churchill	+1.38±0.09	-4.21±0.37	-2.8±0.5	-2.1±0.2
Wuhan	+1.10±0.07	+0.92±0.13	+2.0±0.2	+1.9±0.1
Medicine	+0.78±0.09	+1.42±0.15	+2.2±0.2	+1.9±0.1
Bolonga	+0.78±0.08	+2.53±0.16	+3.3±0.2	+4.2±1.8
Membach	+0.93±0.08	-1.72±0.24	-0.8±0.3	-0.6±0.1
Metsahovi	+1.20±0.09	-2.30±0.25	-1.1±0.3	-1.1±0.1

$$\dot{g}_C = 2g [x_C \cos \varphi \cos \lambda + y_C \cos \varphi \sin \lambda + z_C \sin \varphi] / r_{\oplus},$$

$$\dot{g}_C = (-0.549 \cos \varphi \cos \lambda + 0.085 \cos \varphi \sin \lambda + 1.645 \sin \varphi) \cdot 10^{-9} g \text{ 1/год}$$

$$\dot{h}_C = 1.75 \cos \varphi \cos \lambda - 0.27 \cos \varphi \sin \lambda - 5.24 \sin \varphi$$

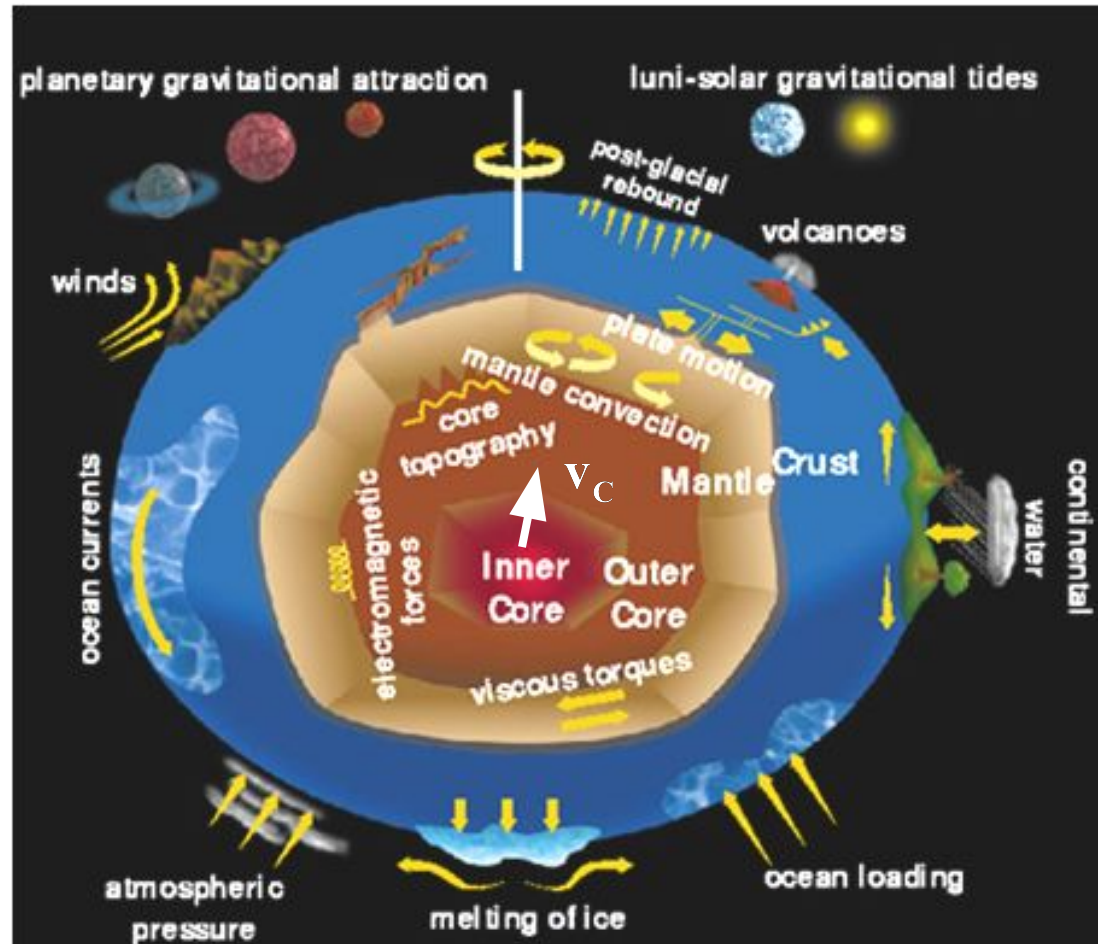
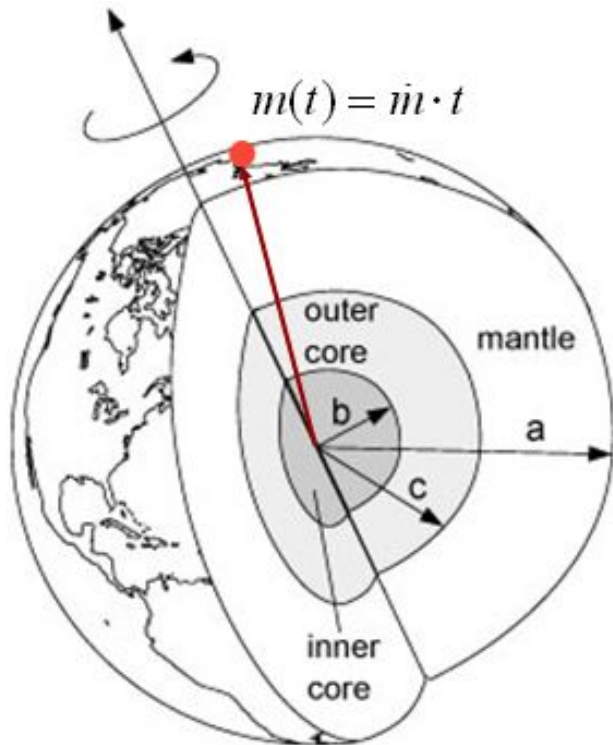
Решение фундаментальных проблем геодинамики, небесной механики, астрометрии и космической геодезии

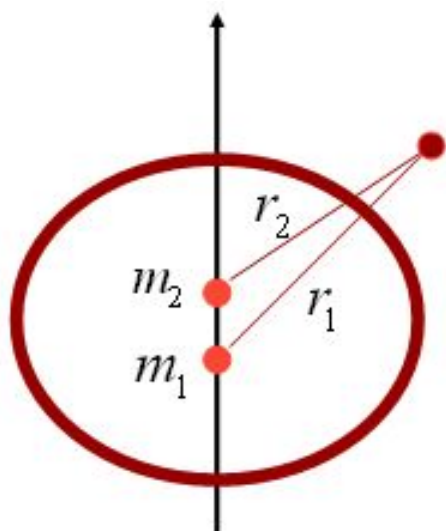
3. Вариации коэффициентов геопотенциала
4. Вековой дрейф полюса оси вращения Земли
5. Неприливное ускорение осевого вращения Земли

Направленное перераспределение масс Земли и его модель

Направленное перераспределение масс Земли и его моделирование

Баркин, 2000





$$m_1 = m(1+i\sigma)$$

$$m_2 = m(1-i\sigma)$$



Акс

Де

Гре

Эйлер

ГреДеАкса

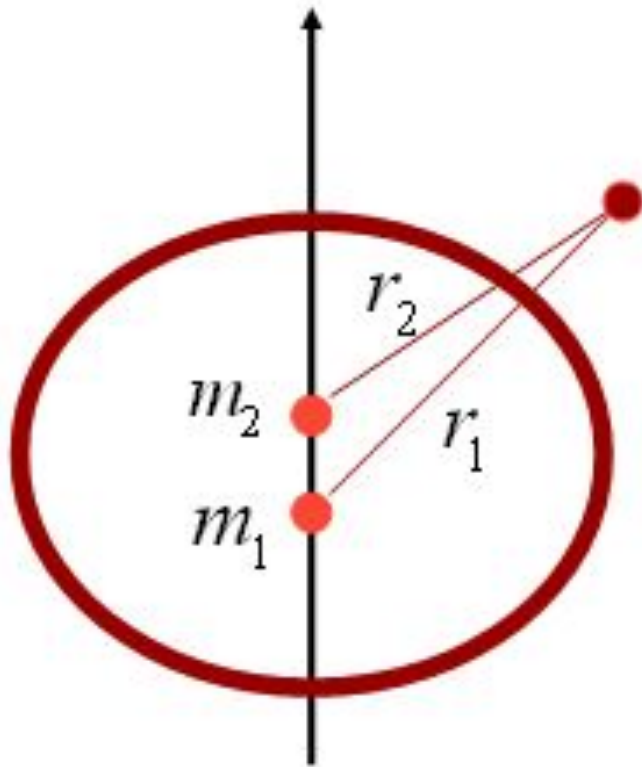
$$U = f \left\{ \frac{M_1}{R_1} + \frac{M_2}{R_2} \right\}$$

$$W = \frac{fm}{2} \left\{ \frac{1+i\sigma}{r_1} + \frac{1-i\sigma}{r_2} \right\}$$

$$\sigma = -0.035647,$$

$$c = 209.729 \text{ km}$$

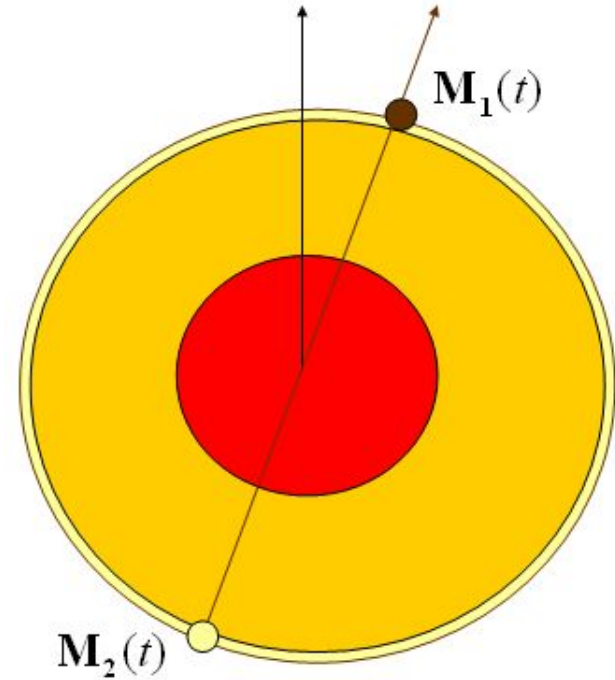
Модель ГрעדАкса



$$m_1 \equiv m(1 + i\sigma)$$

$$m_2 \equiv m(1 - i\sigma)$$

Модель Баркина

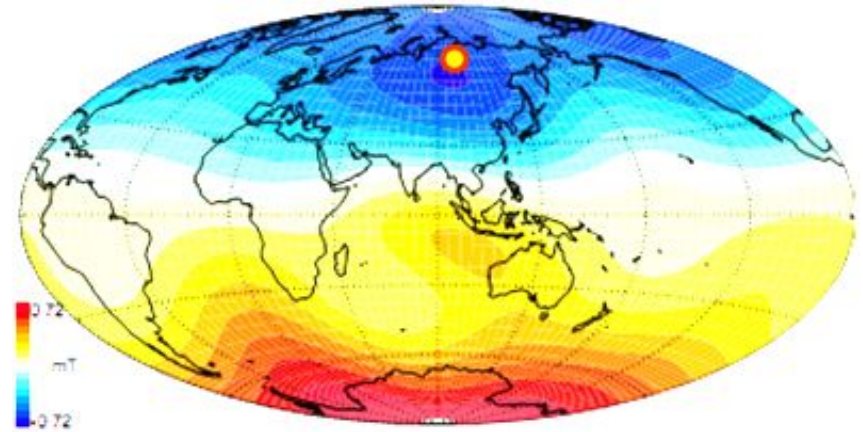
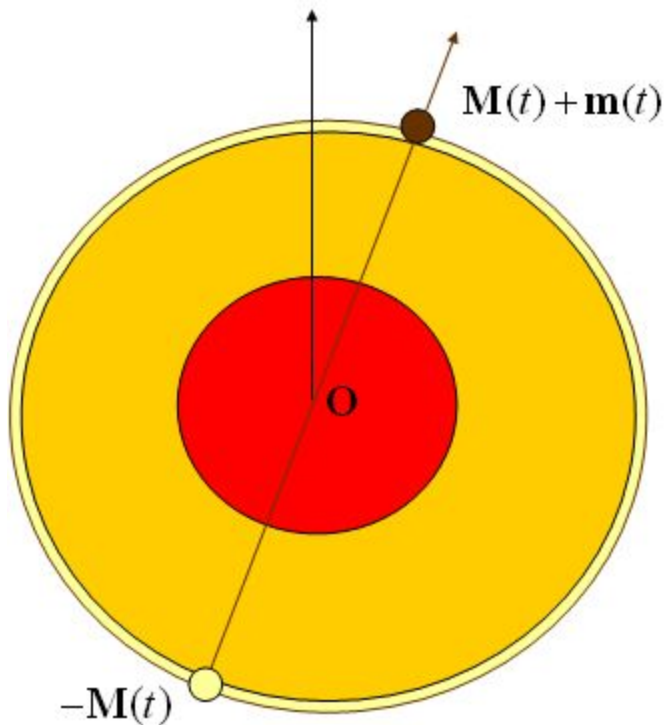


$$M_1(t) = (M + m)t$$

$$M_2(t) = (-M)t$$

Точечная модель направленного перераспределения масс Земли (Barkin, 2007)

$$\begin{array}{cccc}
 \dot{C}_{20}/(10^{-11} \text{ 1/}) & \dot{C}_{21}/(10^{-11} \text{ 1/}) & \dot{S}_{21}/(10^{-11} \text{ 1/}) & \dot{C}_{30}/(10^{-11} \text{ 1/}) \\
 \mathbf{2.7 \pm 0.4} & \mathbf{-0.303 \pm 0.013} & \mathbf{1.187 \pm 0.013} & \mathbf{1.3 \pm 0.5}
 \end{array}$$

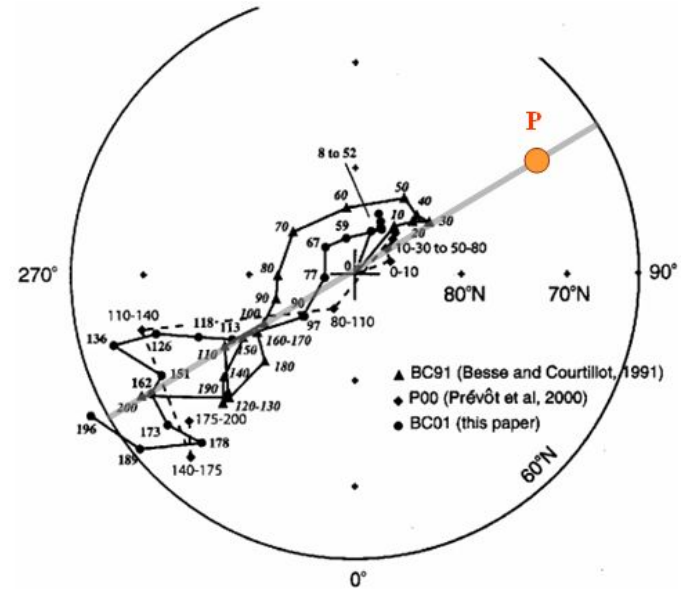
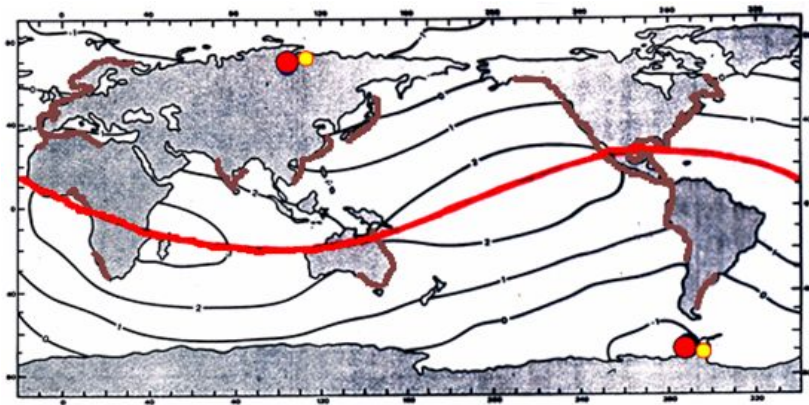
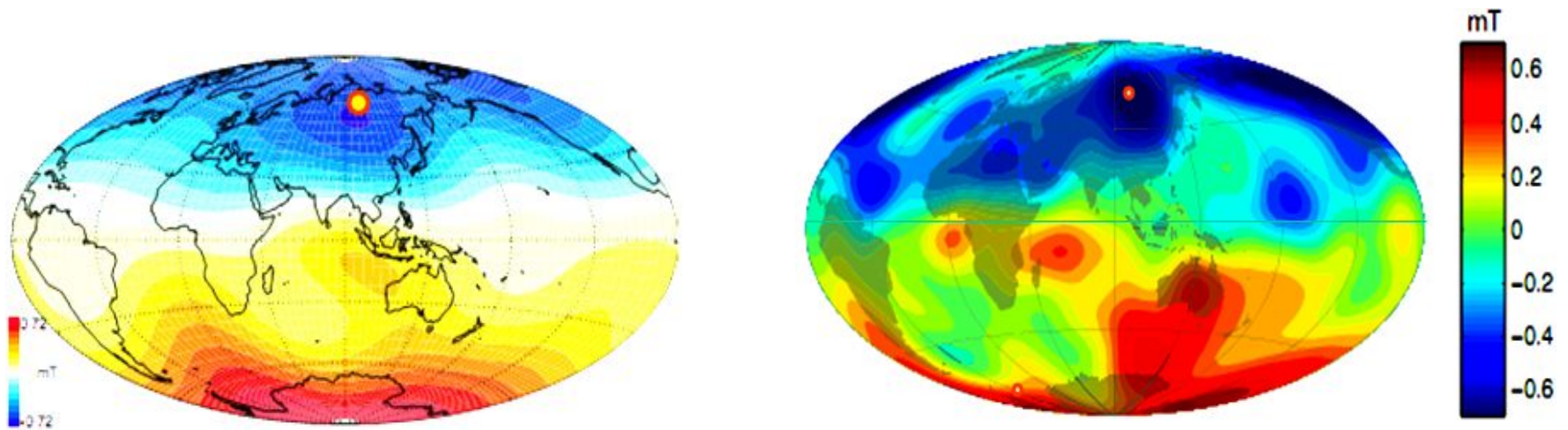


$$\varphi = 67^{\circ}5 \pm 2^{\circ}8$$

$$\lambda = 104^{\circ}28 \pm 0^{\circ}74$$

$$\dot{m}/m_E = (30.46 \pm 0.51) \cdot 10^{-11} \text{ 1/}$$

$$\dot{M}/m_E = (10.62 \pm 0.97) \cdot 10^{-11} \text{ 1/}$$



Корреляции положения полюса оси направленного перераспределения масс Земли с аномалиями магнитного полюса, со структурой изменения поверхности океана и положением палеомагнитных полюсов.

Основные рабочие формулы

$$\dot{C}_{20} = \frac{1}{2} \frac{\dot{m}}{m_E} (2 - 3 \cos^2 \varphi), \quad \dot{C}_{30} = -\frac{1}{2} \frac{2\dot{M} + \dot{m}}{m_E} \sin \varphi (3 - 5 \sin^2 \varphi),$$
$$\dot{C}_{21} = \frac{1}{2} \frac{\dot{m}}{m_E} \sin 2\varphi \cos \lambda, \quad \dot{S}_{21} = \frac{1}{2} \frac{\dot{m}}{m_E} \sin 2\varphi \sin \lambda$$

Определение долготы точечной массы: $\lambda = 104^{\circ}28 \pm 0^{\circ}74$

$$\tan \lambda = \dot{S}_{21} / \dot{C}_{21}$$

Определение широты точечной массы: $\varphi = 67^{\circ}5 \pm 2^{\circ}8$

$$\frac{\sin 2\varphi}{2 - 3 \cos^2 \varphi} = \frac{\sqrt{(\dot{C}_{21})^2 + (\dot{S}_{21})^2}}{\dot{C}_{20}}$$

Скорости вековых вариаций точечных масс:

$$\frac{\dot{m}}{m_{\oplus}} = \frac{2\dot{C}_{20}}{2 - 3 \cos^2 \varphi} \quad \frac{\dot{M}}{m_{\oplus}} = - \frac{\dot{C}_{30}}{\sin \varphi (3 - 5 \sin^2 \varphi)} - \frac{\dot{m}}{2m_{\oplus}}$$

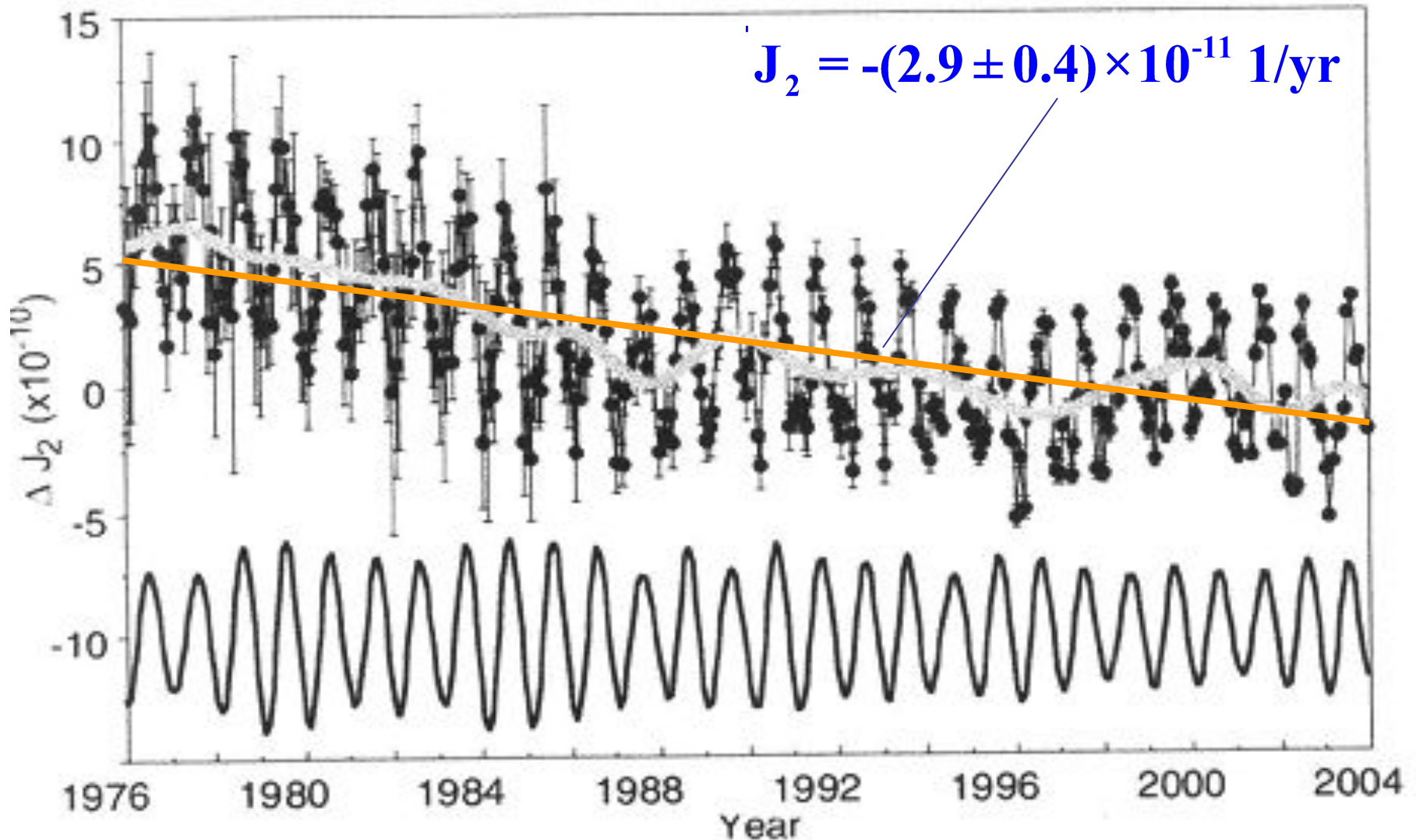
$$\underline{\underline{\dot{m}/m_{\oplus} = (3.46 \pm 0.74) \cdot 10^{-11} \text{ 1/}}}$$

$$\underline{\underline{\dot{M}/m_E = (-0.62 \pm 0.97) \cdot 10^{-11} \text{ 1/}}}$$

Решение фундаментальных проблем геодинамики

3 Вариации коэффициентов геопотенциала

Наблюдаемый тренд и годовые вариации коэффициента второй гармоники геопотенциала J_2 (Cheng, Shum, Tapley, 2004)



Модельные вариации коэффициентов геопотенциала

$$\dot{J}_1 = -\frac{2\dot{M} + \dot{m}}{m_{\oplus}} \sin \varphi \quad \dot{J}_3 = \frac{1}{2} \frac{2\dot{M} + \dot{m}}{m_{\oplus}} \sin \varphi (3 - 5 \sin^2 \varphi)$$

$$\dot{J}_2 = -\frac{1}{2} \frac{\dot{m}}{m_{\oplus}} (2 - 3 \cos^2 \varphi) \quad \dot{J}_4 = -\frac{1}{8} \frac{\dot{m}}{m_{\oplus}} (3 - 30 \sin^2 \varphi + 35 \sin^4 \varphi)$$

$$\dot{J}_5 = -\frac{1}{8} \frac{2\dot{M} + \dot{m}}{m_{\oplus}} \sin \varphi (15 - 70 \sin^2 \varphi + 63 \sin^4 \varphi)$$

$$\dot{J}_6 = -\frac{1}{16} \frac{\dot{m}}{m_{\oplus}} (-5 + 105 \sin^2 \varphi - 315 \sin^4 \varphi + 231 \sin^6 \varphi)$$

$$\dot{J}_7 = -\frac{1}{16} \frac{2\dot{M} + \dot{m}}{m_{\oplus}} \sin \varphi (-35 + 315 \sin^2 \varphi - 693 \sin^4 \varphi + 429 \sin^6 \varphi)$$

$$\dot{J}_8 = -\frac{1}{128} \frac{\dot{m}}{m_{\oplus}} (35 - 1260 \sin^2 \varphi + 6930 \sin^4 \varphi - 12012 \sin^6 \varphi + 6435 \sin^8 \varphi)$$

**To explanation of fundamental geodynamical phenomena:
Geopotential coefficients variations. 1 unit= 10^{-11} 1/yr. (Barkin, 2001).**

P	Model	Observ.	Authors,year
J_2	-3.06	-3.07 ± 0.4	Cheng, Shum, Tapley, 1997
J_3	-1.51	-1.3 ± 0.5	Cheng, Shum, Tapley, 1997
J_4	-1.76	-1.4 ± 1.0	Cheng, Shum, Tapley, 1997
J_6	-0.27	-0.3 ± 0.7	Cheng, Shum, Tapley, 1997
J_8	0.94	1.1 ± 0.8	Cheng, Shum, Tapley, 1997
C_{21}	-0.294	-0.337	IERS Conventions
S_{21}	1.155	1.606	IERS Conventions
C_{22}	-0.095	-0.095	Marchenko, Abrikosov, 2001
S_{22}	-0.052	-0.052	Marchenko, Abrikosov, 2001

Point model: $m_2=0.179 \times 10^{15}$ kg/yr, $m_1=0.043 \times 10^{15}$ kg/yr;

Таблица 1. Модельные и наблюдаемые значения вековых вариаций коэффициентов геопотенциала

C_{n0}	Модель	Cheng, Shum, Tapley (2004) (observations)
C_{10}	2.05 ± 0.79	---
C_{20}	2.70 ± 0.40	2.70 ± 0.40
C_{30}	1.30 ± 0.50	1.30 ± 0.50
C_{40}	1.25 ± 0.18	1.40 ± 1.00
C_{50}	0.30 ± 0.11	-2.10 ± 0.60
C_{60}	-0.26 ± 0.04	-0.30 ± 0.70
C_{70}	-0.54 ± 0.21	-2.40 ± 1.40
C_{80}	-1.24 ± 0.18	-1.10 ± 0.80

$\text{unit} = 10^{-11} \text{ 1/}$

Модельные (расчетные) значения вековых вариаций коэффициентов зональных гармоник геопотенциала (Barkin, 2001)

Скорости	Вариации $1 \text{ ед} =$ $= 10^{-11} \text{ 1/}$	Скорости	Вариации $1 \text{ ед} =$ $= 10^{-11} \text{ 1/}$	Скорости	Вариации $1 \text{ ед} =$ $= 10^{-11} \text{ 1/}$
$C_{1,0}$	2.05 ± 0.79	$C_{11,0}$	-0.71 ± 0.27	$C_{21,0}$	0.13 ± 0.05
$C_{2,0}$	2.70 ± 0.40	$C_{12,0}$	-0.72 ± 0.11	$C_{22,0}$	-0.17 ± 0.03
$C_{3,0}$	1.30 ± 0.50	$C_{13,0}$	-0.17 ± 0.07	$C_{23,0}$	-0.32 ± 0.12
$C_{4,0}$	1.25 ± 0.18	$C_{14,0}$	0.21 ± 0.03	$C_{24,0}$	-0.74 ± 0.11
$C_{5,0}$	0.30 ± 0.11	$C_{15,0}$	0.39 ± 0.15	$C_{25,0}$	-0.55 ± 0.21
$C_{6,0}$	-0.26 ± 0.04	$C_{16,0}$	0.90 ± 0.13	$C_{26,0}$	-0.85 ± 0.13
$C_{7,0}$	-0.54 ± 0.21	$C_{17,0}$	0.67 ± 0.26	$C_{27,0}$	-0.46 ± 0.18
$C_{8,0}$	-1.24 ± 0.18	$C_{18,0}$	1.02 ± 0.15	$C_{28,0}$	-0.47 ± 0.07
$C_{9,0}$	-0.90 ± 0.35	$C_{19,0}$	0.54 ± 0.21	$C_{29,0}$	-0.11 ± 0.04
$C_{10,0}$	-1.35 ± 0.20	$C_{20,0}$	0.56 ± 0.08	$C_{30,0}$	0.15 ± 0.02

Вековые вариации коэффициентов тессеральных гармоник геопотенциала (двухточечная модель)

$$\dot{C}_{2n,k} = \frac{\dot{2m}}{m_E \delta_k} \cdot \frac{(2n-k)!}{(2n+k)!} P_{2n}^{(k)}(\sin \varphi) \cos k \lambda$$

$$\dot{S}_{2n,k} = \frac{\dot{2m}}{m_E \delta_k} \cdot \frac{(2n-k)!}{(2n+k)!} P_{2n}^{(k)}(\sin \varphi) \sin k \lambda$$

$$\dot{C}_{2n+1,k} = \frac{2(\dot{2M} + \dot{m})}{m_E \delta_k} \cdot \frac{(2n+1-k)!}{(2n+1+k)!} P_{2n+1}^{(k)}(\sin \varphi) \cos k \lambda$$

$$\dot{S}_{2n+1,k} = \frac{2(\dot{2M} + \dot{m})}{m_E \delta_k} \cdot \frac{(2n+1-k)!}{(2n+1+k)!} P_{2n+1}^{(k)}(\sin \varphi) \sin k \lambda$$

$$\delta_0 = 2$$

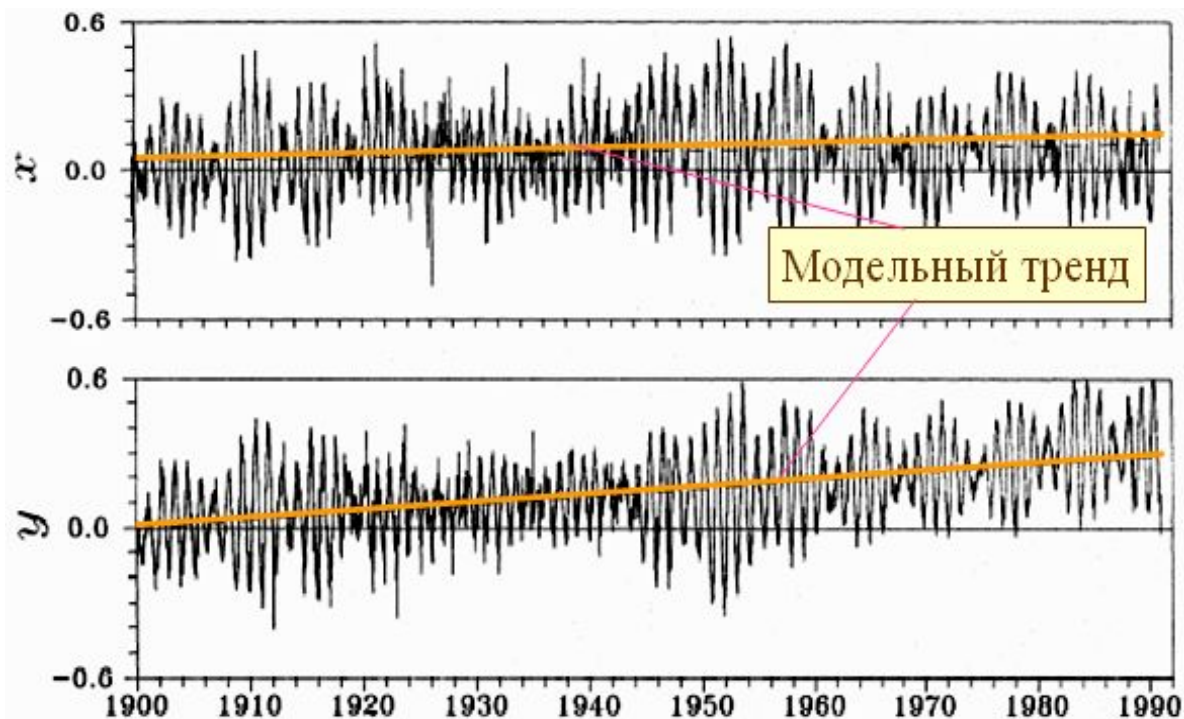
Решение фундаментальных проблем геодинамики

4 Вековой дрейф полюса оси вращения Земли

$$\frac{\dot{p}}{\omega} = \left(1 + \frac{\omega}{\Omega}\right) \left(\frac{C_{21}}{I} - \frac{p}{\omega C}\right), \quad \frac{\dot{q}}{\omega} = \left(1 + \frac{\omega}{\Omega}\right) \left(\frac{S_{21}}{I} - \frac{q}{\omega C}\right)$$

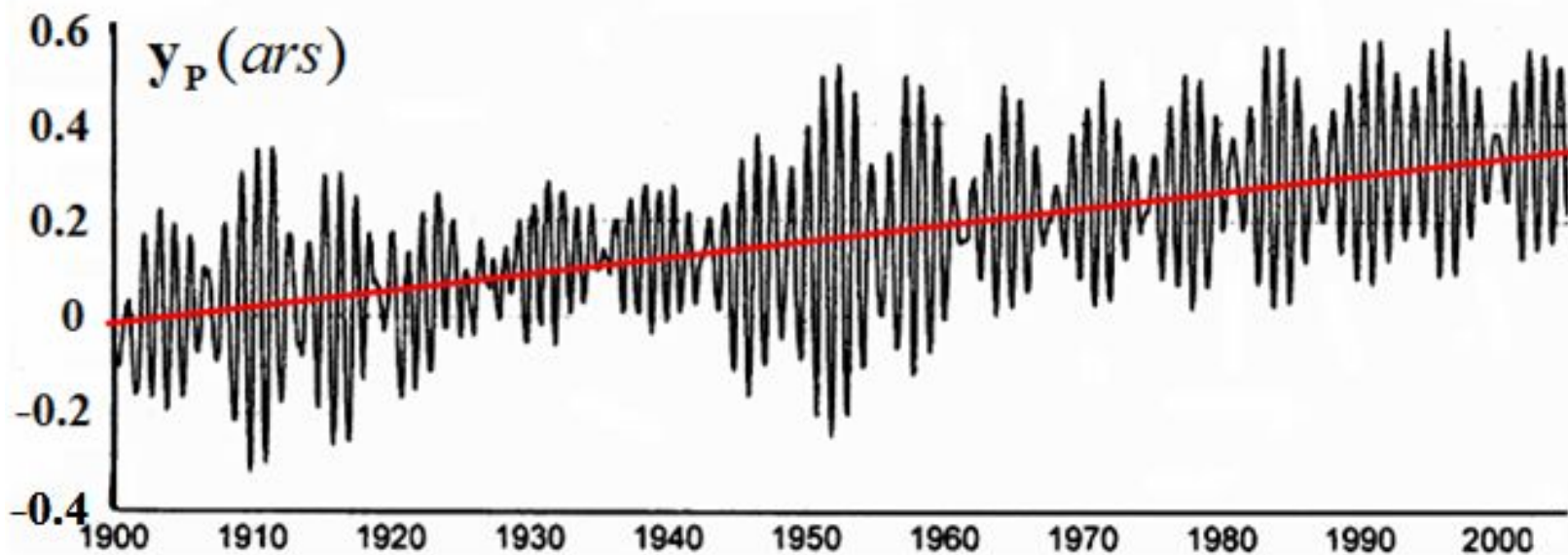
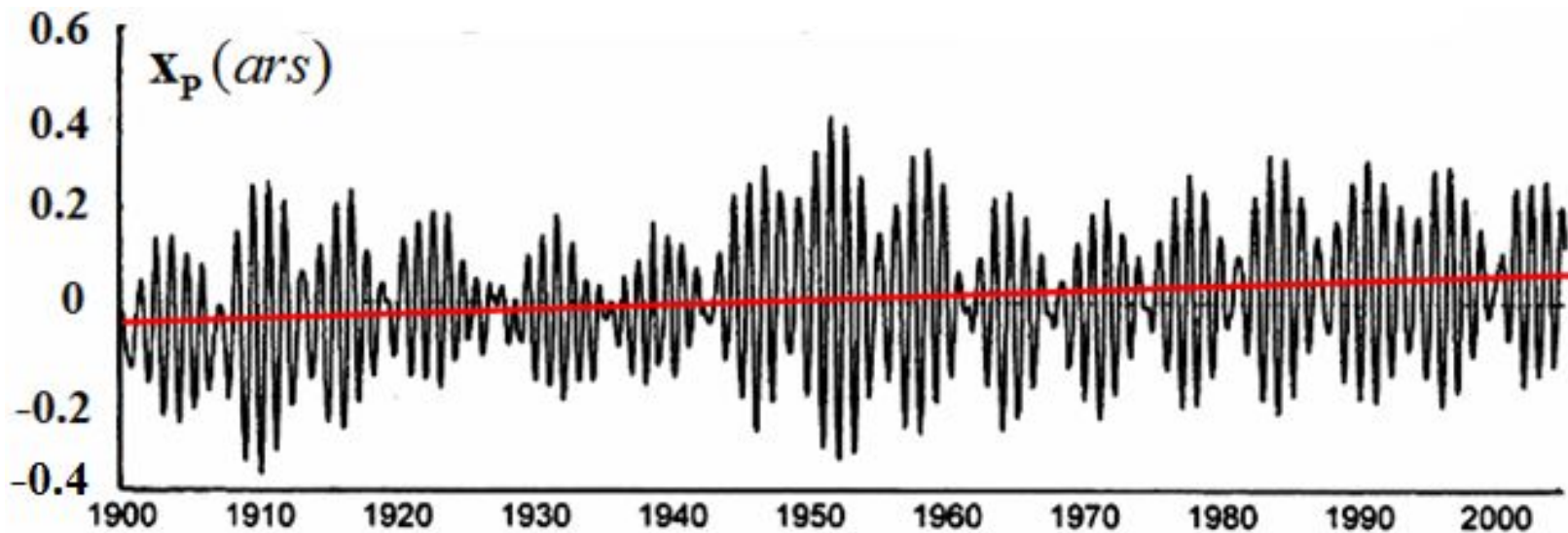
Вековой дрейф полюса оси вращения Земли

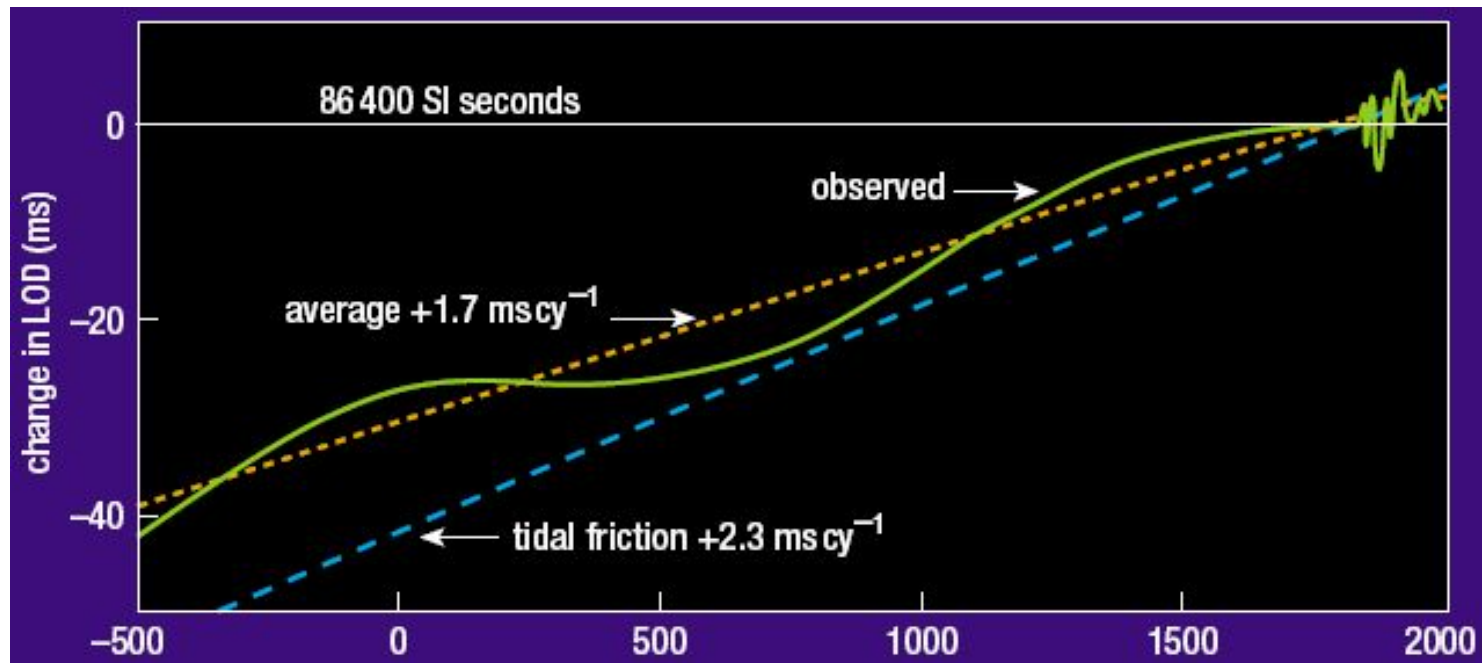
$$\frac{\dot{p}}{\omega} = \left(1 + \frac{\omega}{\Omega}\right) \frac{C_{21}}{I}, \quad \frac{\dot{q}}{\omega} = \left(1 + \frac{\omega}{\Omega}\right) \frac{S_{21}}{I}$$



**Рис. Дрейф полюса в период 1900-1990 в направлении $72^{\circ}9$ з.д. с угловой скоростью $0^{\circ}331 \pm 0^{\circ}003$ (1/век) (Gross, Vondrak, 1999).
Наша модель: скорость дрейфа $0^{\circ}321$ (1/век), направление $75^{\circ}7$ з.д.**

Вариации (колебания и тренды) координат полюса оси вращения Земли в период январь 20 1900 – январь 20 2005 (IERS)





5 Неприливное ускорение осевого вращения Земли

$$\frac{\dot{\omega}}{\omega} = -\frac{\dot{C}}{C} - \frac{\dot{R}}{\omega C} \qquad \frac{\dot{C}}{C} = \frac{2}{3I} J_2$$

Stephenson, F.R. and Morrison, L.V. (1995) «**Long term fluctuations in the Earth's rotation: 700 BC to AD 1990**», Phil. Trans. R. Soc. Lond., A, 351, p. 165-202.

To explanation of fundamental geodynamical phenomena:

(Barkin, 2001)

Earth's axial acceleration;

Earth's pole secular drift;

1 unit= 10^{-11} 1/yr

P	Model	Observ.	Authors, year
$\dot{\omega}/\omega$	6.17	6.7 ± 1.7	Stephenson, Morrison, 1995
$\dot{\varphi}$	387.7	394.5	Gross, Vondrak, 2001
$\dot{\varphi}$	-1505.4	-1547.5	Gross, Vondrak, 2001
$\dot{\omega}_p$	1553.6	1597.0	Gross, Vondrak, 2001

Point model: $m_2=0.179 \times 10^{15}$ kg/yr, $m_1=0.043 \times 10^{15}$ kg/yr;

Решение фундаментальных проблем геофизики

6 Объяснение векового нарастания глобального уровня океана,

средних уровней океана в северном и южном полушариях Земли и

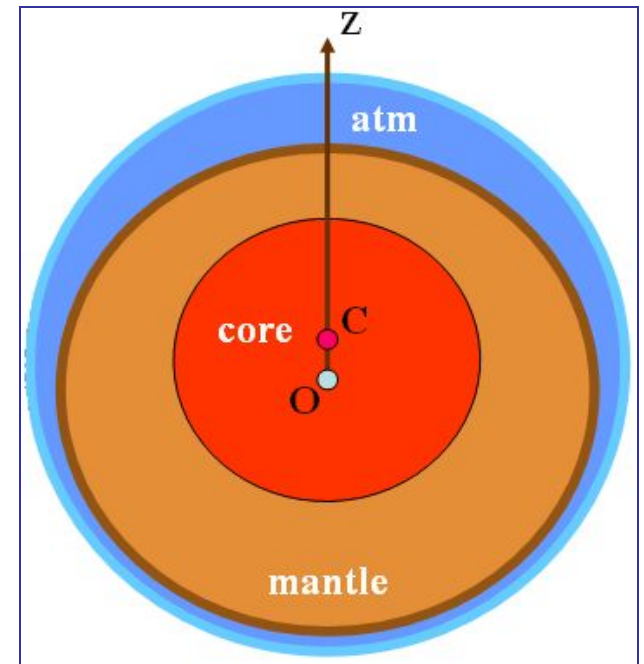
установление широтной зависимости среднего уровня по широтным поясам

Уровень океана. Климат.

Баркин Ю.В. (2007)

Глобальное возрастание среднего уровня океана и ошибочная трактовка роли тепловых факторов.

«Геология морей и океанов: Материалы XVII Международной научной конференции (школы) по морской геологии». Т.IV. М.: ГЕОС. 2007. с. 18-20.



В северном полушарии средний уровень мирового океана возрастает со скоростью

2.45 ± 0.32 мм/год

В южном полушарии средний уровень мирового океана возрастает со скоростью

0.67 ± 0.30 мм/год

Глобальный уровень мирового океана в современную эпоху возрастает со скоростью

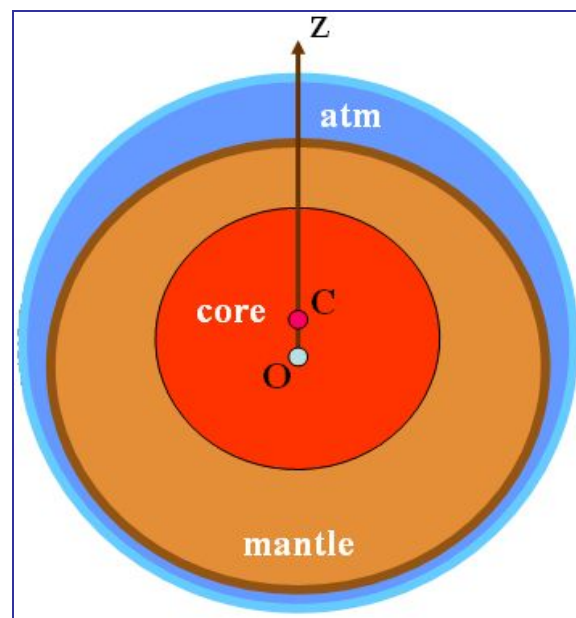
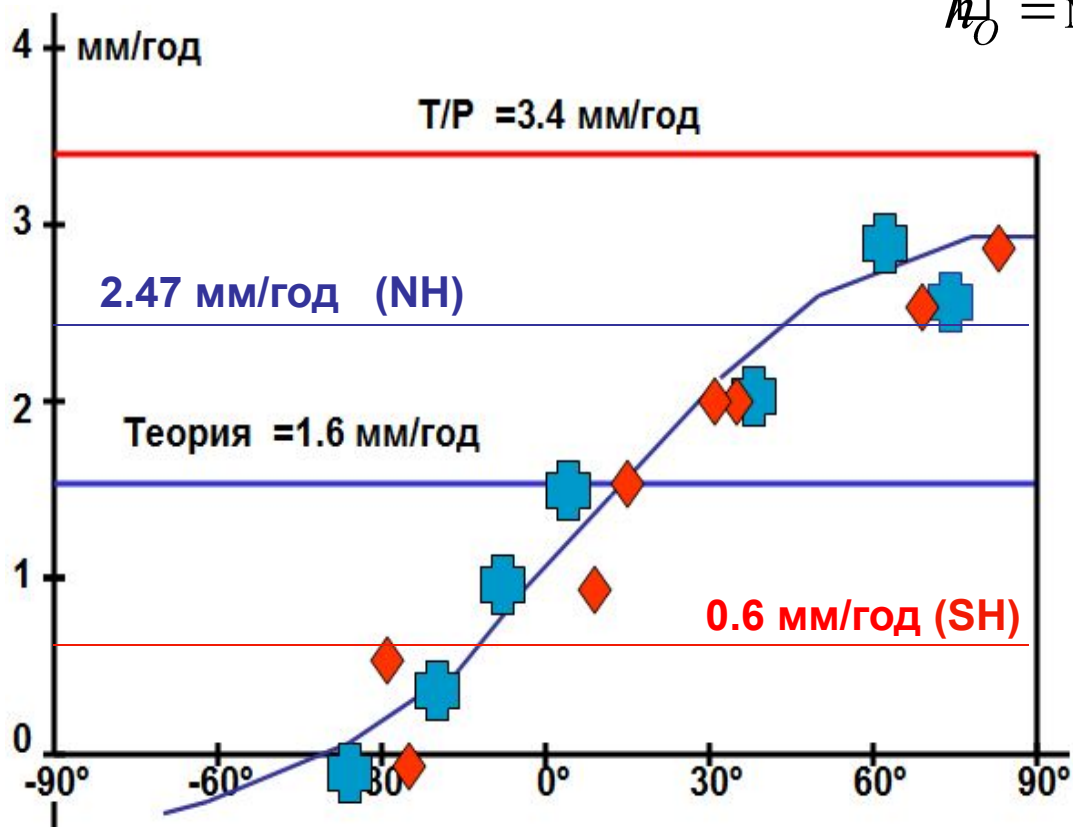
1.61 ± 0.36 мм/год

Скорость нарастания уровня океана в зависимости от широты, средние скорости нарастания уровня океана в северном и южном полушариях в период 1980 - 2000 гг.

$$\dot{H}_o(\theta) = \dot{H}_o^{(0)} \sin \varphi + \bar{h}_o$$

$$\dot{H}_o^{(0)} = 1.84 \pm 0.61 \text{ мм/год}$$

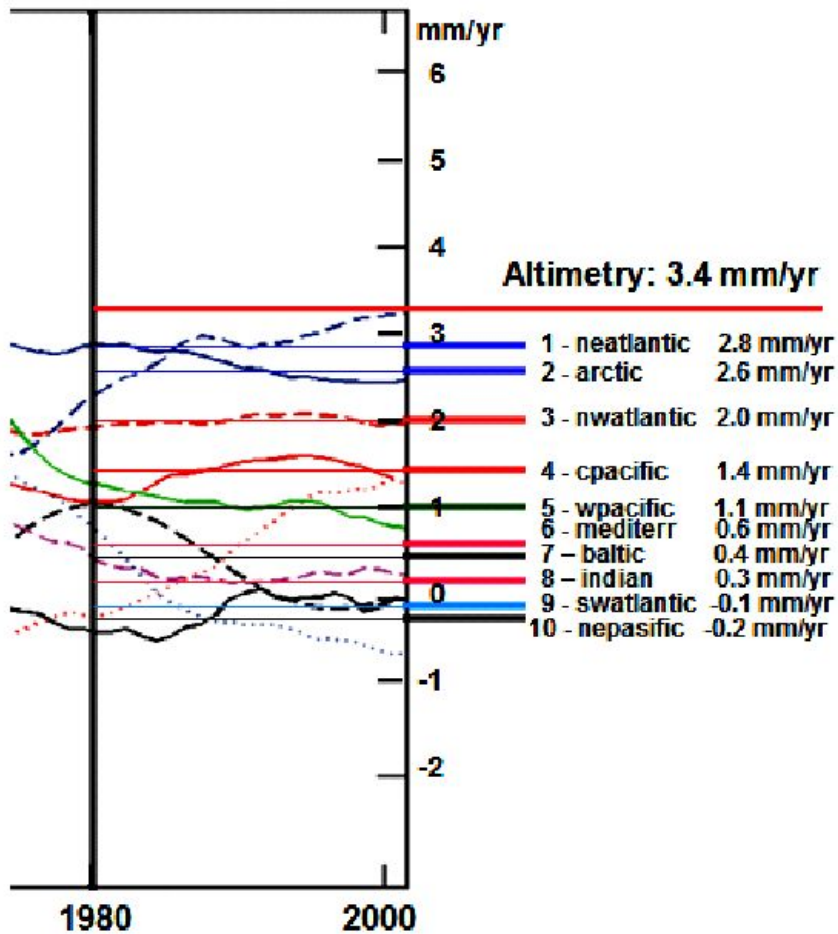
$$\bar{h}_o = 1.5 \pm 0.5 \text{ мм/год}$$



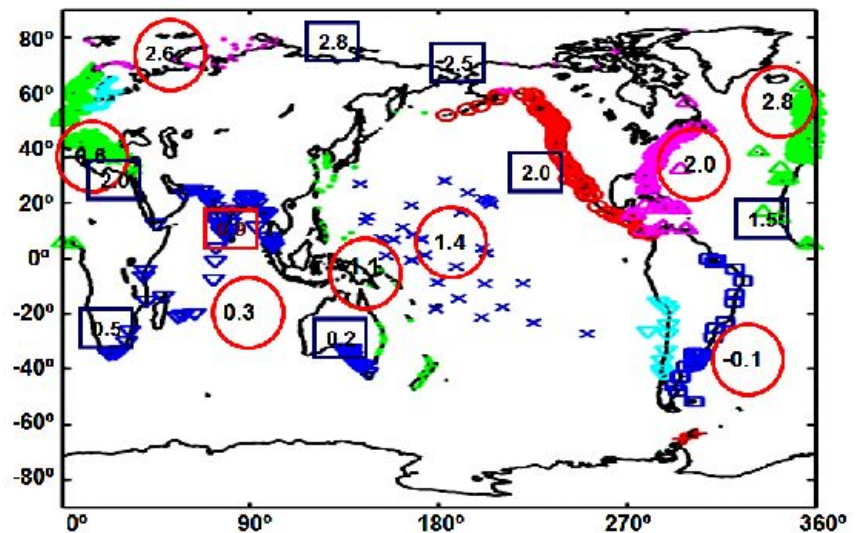
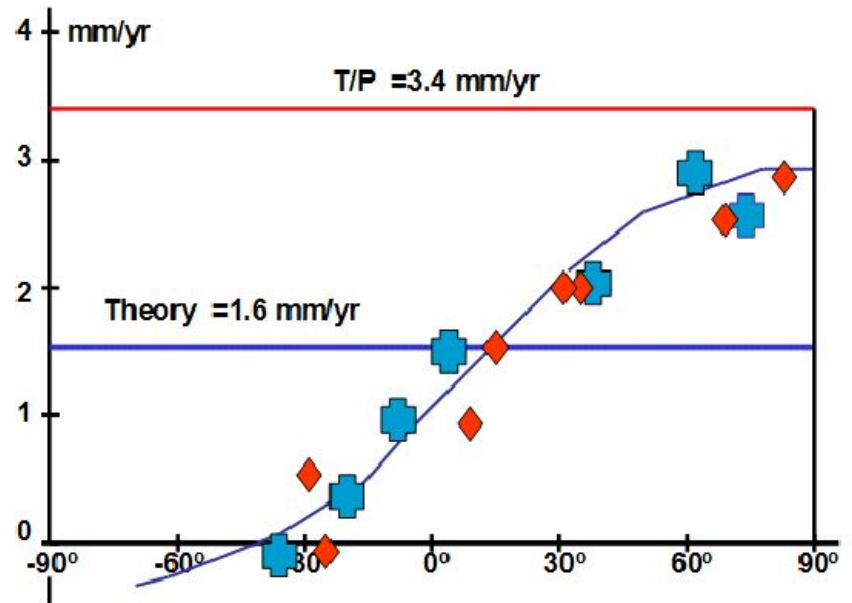
Баркин, 2005

Предсказание и открытие векового S-N прилива

Возрастание уровня океана в зависимости от широты



Период наблюдений 1980-2005
(Evreeva et al., 2006)





Проблема М.В. Ломоносов о смещениях притягивающего центра Земли

Фундаментальные проблемы небесной механики, гравиметрии и геодинамики

1. **Вековой дрейф центра масс Земли**
2. **Вековые вариации силы тяжести**
3. **Вариации коэффициентов геопотенциала**
4. **Вековой дрейф полюса оси вращения Земли**
5. **Неприливное ускорение осевого вращения Земли**
6. **Вековое изменение уровня океана**

Спасибо за внимание!

