

УДК 521.937+537.67+550.2+550.385.1

UDC 521.937+537.67+550.2+550.385.1

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ НА ДВИЖЕНИЕ ПОЛЮСА ЗЕМЛИ**MODEL OF CELESTIAL BODIES IMPACT ON THE EARTH POLAR MOTION**

Трунев Александр Петрович

Alexander Trunev

к. ф.-м. н., Ph.D.

Cand.Phys.-Math.Sci., Ph.D.

*Директор, A&E Trounev IT Consulting, Торонто, Канада**Director, A&E Trounev IT Consulting, Toronto, Canada*

В работе исследовано возмущенное движение полюса Земли, обусловленное гравитационным воздействием небесных тел

Perturbed motion of a pole of the Earth caused by gravitational action of celestial bodies is explored in the article

Ключевые слова: ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ, ДВИЖЕНИЕ ПОЛЮСА ЗЕМЛИ, НУТАЦИЯ, ПРЕЦЕССИЯ

Keywords: COMPUTATIONAL EXPERIMENT, EARTH POLAR MOTION, NUTATION, PRECESSION

Введение

В работе /1/ развита модель вынужденной нутации, основанная на гипотезе о существовании гравитационного механизма обмена механическим моментом в Солнечной системе. На основе модели /1/ была сделана оценка момента сил, обусловленного гравитационным воздействием небесных тел на нашу планету в период с 1963 по 1980 гг /2/. Показано, что Солнце, Луна, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун вносят существенный вклад в динамику движения полюсов.

В настоящей работе сделана оценка углового момента сил, действующего со стороны небесных тел на Землю в период с 1990 г по 2007 г. Обсуждается технология моделирования и прогнозирования движения полюса Земли.

При создании моделей в настоящей работе были использованы данные по координатам географического полюса – X , Y /3/, данные по индукции магнитного поля Земли /4/, а также данные по сейсмическим событиям /5/.

В качестве астрономических параметров были использованы долгота (LON), широта (LAT) и расстояние – R , от Земли до девяти небесных тел – Солнца, Луны, Марса, Меркурия, Венеры, Юпитера, Сатурна, Урана и

Нептуна. Астрономические параметры вычислялись на каждый день в фиксированной точке с географическими координатами Гринвича в 12:00 GMT в топоцентрической системе координат. Отметим, что выбор этой точки не является существенным для решаемого класса задач.

Модель движения полюса Земли

Стандартная модель движения полюса Земли может быть выведена из уравнений Эйлера с переменным тензором инерции [6-8]. В качестве основы используется уравнение изменения механического момента во вращающейся системе координат

$$\frac{d\mathbf{L}}{dt} + [\mathbf{\Omega} \times \mathbf{L}] = \mathbf{K} \quad (1)$$

Здесь $\mathbf{\Omega}$, \mathbf{L} , \mathbf{K} – векторы угловой скорости вращения Земли, углового момента и углового момента сил соответственно. Угловой момент связан с угловой скоростью и тензором инерции по формуле

$$L_i = I_{ik} \Omega_k + dL_i \quad (2)$$

Где dL_i – относительный угловой момент, обусловленный перемещением текучих сред относительно центра масс

$$d\mathbf{L} = \int r[\mathbf{r} \times \mathbf{v}]dV \quad (3)$$

Проецируя уравнения (1) на главные оси инерции, находим систему уравнений в форме Эйлера:

$$\begin{aligned} A\dot{\Omega}_1 + (C - B)\Omega_2\Omega_3 &= \tilde{K}_1 \\ B\dot{\Omega}_2 + (A - C)\Omega_1\Omega_3 &= \tilde{K}_2 \\ C\dot{\Omega}_3 + (B - A)\Omega_1\Omega_2 &= \tilde{K}_3 \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь \tilde{K}_i – эффективный угловой момент сил с учетом вариаций углового момента и тензора инерции. Главные моменты инерции Земли приведены в таблице 1. Полагая в первом и втором уравнениях системы (4) $\Omega_3 = \omega_e = \text{const}$, получим линейную подсистему, собственная частота которой определяется в виде

$$\omega_E = \omega_e \sqrt{(C - A)(C - B) / AB} \quad (5)$$

Используя данные, приведенные в таблице 2, находим, что период колебаний, соответствующий частоте (5), составляет 304,57 сидерических суток. В этом случае система (4) описывает нутацию Эйлера, т.е. движение полюса недеформируемой Земли. Реально же Земля имеет сложное строение, включающее мантию и ядро. В случае вязкоупругой модели Земли частота собственных колебаний системы (4) отличается от частоты нутации Эйлера (5), а период колебаний по данным /9/ составляет 433,1 солнечных суток (см. таблицу 1), по данным /10/ - 415-490 солнечных суток (данные для FCN), по данным же /11/ диапазон изменения составляет 270,9-628,7 дней. В теоретических моделях период колебаний обычно принимается постоянным /7, 12/.

Такой разброс фундаментальных параметров свидетельствует о сложном явлении, которое моделируется простой системой (4). Возникает также вопрос о механизме возбуждения колебаний оси вращения Земли и их связи с сейсмической активностью /8, 11, 13, 21-23/. Поскольку уже установлена связь высокочастотных колебаний полюса с океаническими и атмосферными приливами /14-21/, следует предположить, что годовые, чандлеровские и другие низкочастотные составляющие колебаний полюса Земли также обусловлены движением небесных тел, вызывающих приливы /1-2, 6-8, 11, 23/.

Таблица 1. Главные моменты инерции, константы вращения Земли и мировые константы по данным /3/

Название	Символ	Величина	Единица измерения	Ссылка
Equatorial moment of inertia	A	8.0101	10^{37} kg m ²	IAG 1999
Equatorial moment of inertia	B	8.0103	10^{37} kg m ²	IAG 1999
Axial moment of inertia C	C	8.0365	10^{37} kg m ²	IAG 1999
Longitude of the principal inertia axis A	λ_A	-14.9291	°	IAG 1999
Mean angular velocity of the Earth	Ω	7.292 115	10^{-5} rad/s	IAG 1999
Nominal angular velocity of the Earth	Ω_N	7.292 115 146 706 4	10^{-5} rad/s	epoch 1820
Chandler period (in the terrestrial frame)	T_C	433.1	mean solar day	/9/
Conventional duration of the mean solar day	D	86 400	s	
Gravitational constant	G	6.6742	10^{-11} m ³ kg ⁻¹ s ⁻²	CODATA
light speed in ether	c	299 792 458	ms ⁻¹	CODATA

Ниже дана оценка моментов сил в правой части системы (4) на основе данных /3/ и гипотезы о гравитационном механизме обмена угловым моментом в Солнечной системе /1/.

Оценка угловых моментов сил

Запишем первые два уравнения модели (4) в виде:

$$\begin{aligned}
 A\ddot{X} &= Aa_1\dot{Y} + \tilde{K}_1 \\
 B\dot{Y} &= Ba_2\dot{X} + \tilde{K}_2
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Основная проблема, связанная с исследованием угловых моментов сил в системе (6), заключается в нерегулярном поведении второй производной параметров движения полюса, возникающей при численном дифференцировании экспериментальных данных /3/ или любых других, доступных в настоящее время. Чтобы обойти эту трудность в работах /1-2/ была построена модель линейной регрессии, замещающая систему (6), с использованием 27 комбинаций астрономических параметров, характеризующих влияние каждого небесного тела:

$$\begin{aligned}
 P_{i1} &= \frac{\sin LAT_i}{R_i} - \frac{\cos J_e}{R_i} \\
 P_{i2} &= k_i \frac{\cos LAT_i \sin LON_i}{R_i} - \frac{\sin J_e}{R_i} \\
 P_{i3} &= k_i \frac{\cos LAT_i \cos LON_i}{R_i} \\
 k_i &= \sin J_e \cos LAT_i \sin LON_i + \cos J_e \sin LAT_i, \quad i = 1, 2, \dots, 9
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Здесь $J_e = 23,439291^0$ - угол наклона земной оси относительно нормали к орбитальной плоскости. Структура комплексов (7) вытекает из аналогии электромагнитных и гравитоэлектромагнитных (GEM) явлений /24/. Отметим, что данные для расстояний от Земли до небесных тел вычисляются в формулах (7) в астрономических единицах. Модель /2/ можно записать в виде

$$\begin{aligned}
 \mathfrak{y}(n) &= a_1 y(n) + b_1 + \sum_{j,k} \tilde{c}_{jk} P_{jk}(n), \quad 1 \leq n \leq N \\
 \mathfrak{x}(n) &= a_2 x(n) + b_2 + \sum_{j,k} \tilde{d}_{jk} P_{jk}(n), \quad 1 \leq n \leq N
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

Как известно, на протяжении 100 лет наблюдается дрейф полюса со средней скоростью около 3,9 мс/год в направлении 65,7°W /8/ (по другим данным скорость дрейфа составляет 3,5 мс/год в направлении 75°W /19/). Для учета этого явления в правой части уравнений (8) введены константы скорости.

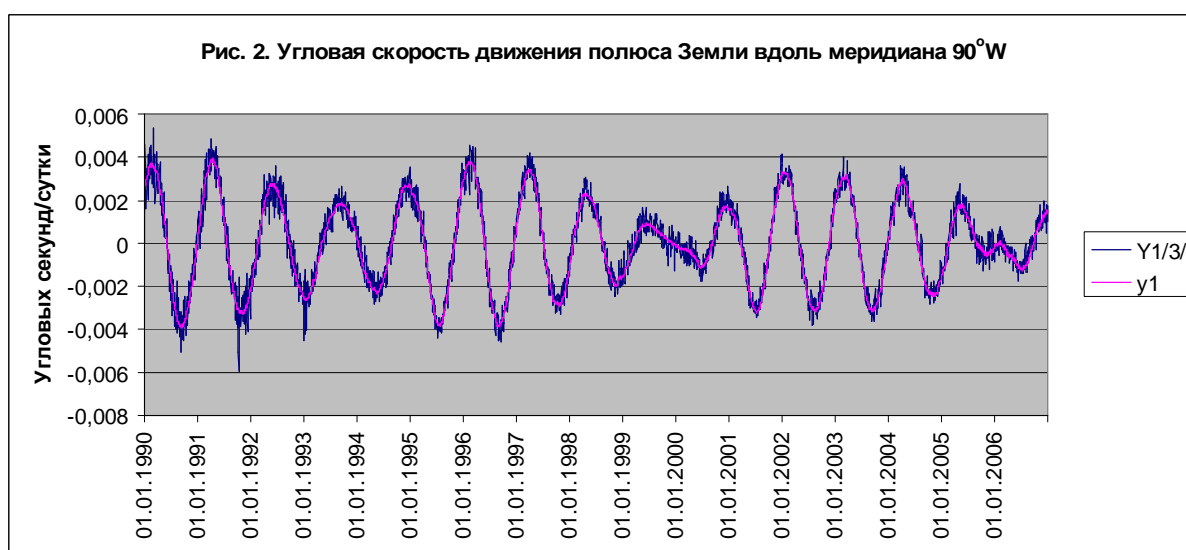
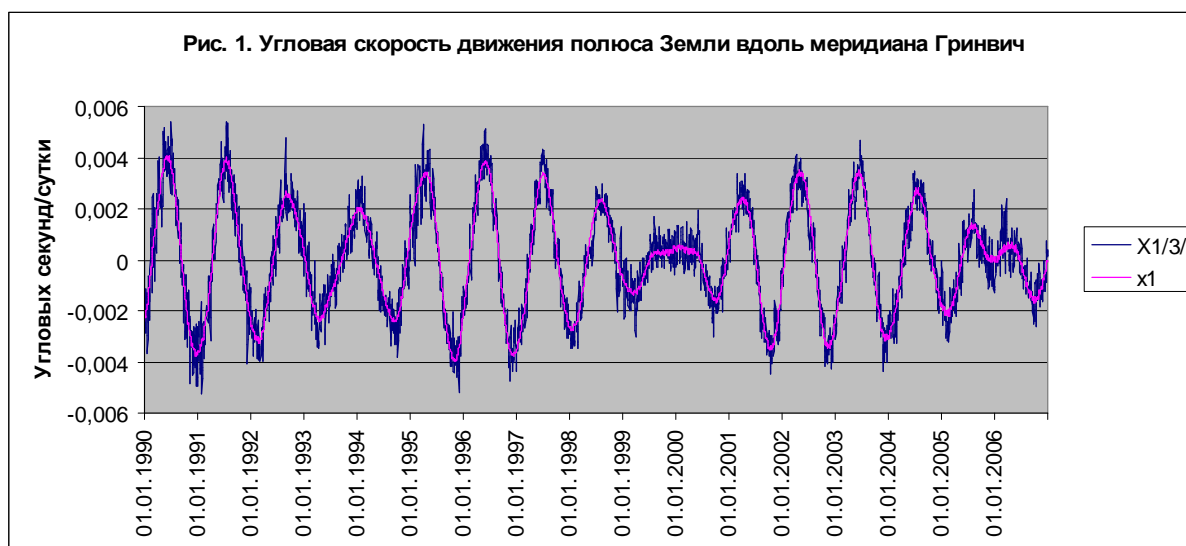
Сравнивая (6) и (8), находим, что интегралы по времени от угловых моментов представляются в виде рядов, учитывающих влияние небесных тел. На рис. 1-2 представлены данные /3/ для угловой скорости движения полюса вместе с расчетными данными по модели (8).

Учитывая неплохое согласие экспериментальных и расчетных данных, полученное на основе модели (8), заместим модель (6) на модель линейной регрессии, используя гладкие функции, представленные на рис. 1-2, имеем

$$A\mathcal{X}(n) = Aa_1\mathcal{X}(n) + \sum_{j,k} c_{jk} P_{jk}(n), \quad 1 \leq n \leq N \tag{9}$$

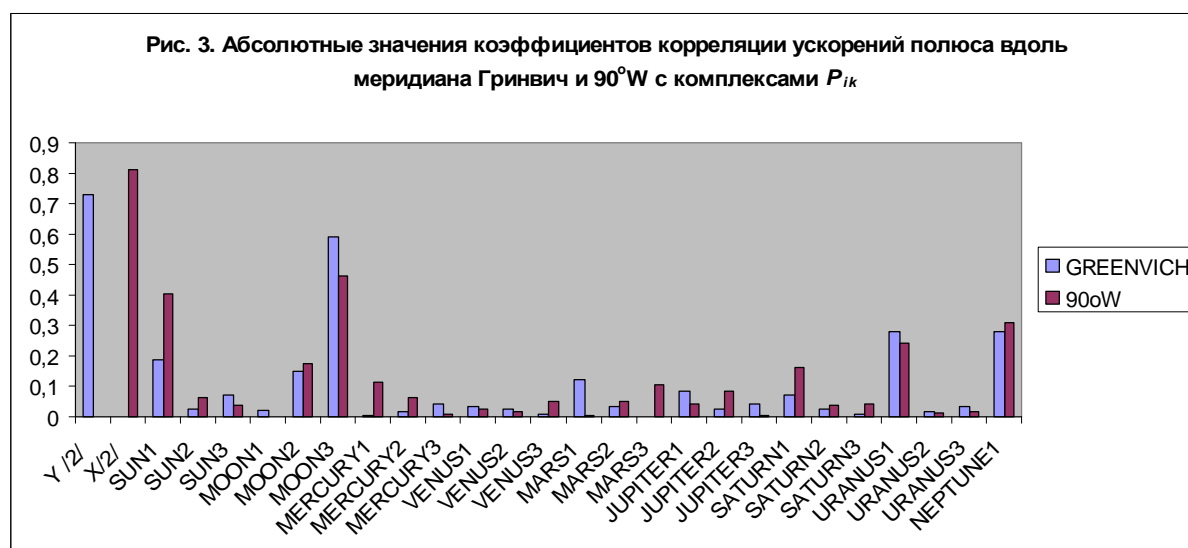
$$B\mathcal{X}(n) = Ba_2\mathcal{X}(n) + \sum_{j,k} d_{jk} P_{jk}(n), \quad 1 \leq n \leq N$$

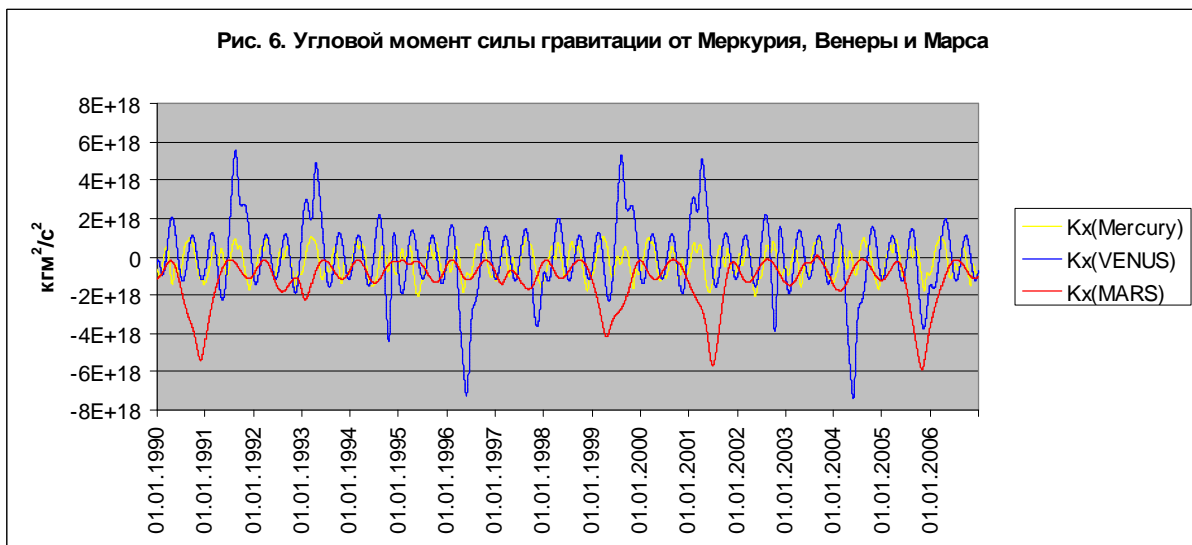
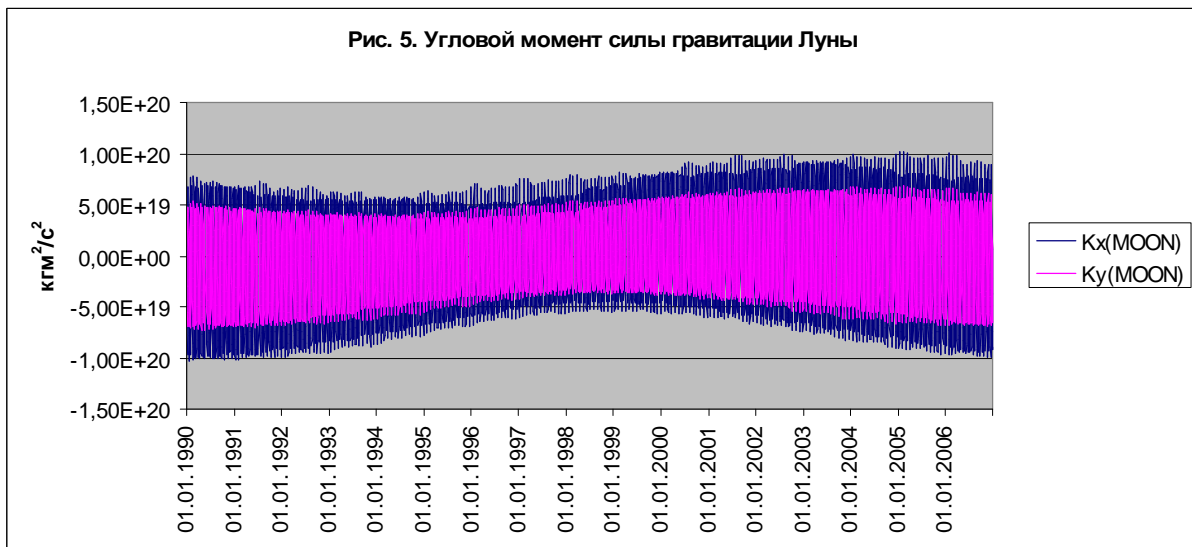
Отметим, что модель (9) позволяет прямо оценить величину угловых моментов сил отдельных небесных тел по коэффициентам линейной регрессии. На рис. 3 представлены абсолютные значения коэффициентов корреляции угловых моментов сил с комплексами (7). Эти данные показывают, что Солнце, Луна и планеты гиганты – Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, вносят определяющий вклад в динамику полюса Земли.



На рис. 4-9. представлены оценки угловых моментов сил, действующих на Землю со стороны небесных тел Солнечной системы. Амплитуда углового момента силы гравитации Солнца составляет приблизительно $6 \cdot 10^{19} \text{ кг м}^2/\text{с}^2$. Амплитуда момента сил гравитации Луны в некоторые периоды в 1,5 раза больше, чем амплитуда момента сил гравитации Солнца, а в некоторые периоды совпадает с ним – рис. 5 (из-за высокой частоты колебаний на рис. 5 просматривается только огибающая моментов сил). Амплитуда момента сил гравитации от Марса и Венеры на порядок меньше, чем от Солнца, амплитуда момента силы гравитации Меркурия в отдельные периоды на два порядка меньше, чем у Луны – рис. 6. Отметим, что влияние Венеры на движение полюса ранее было обнаружено в работе /11/ на основе спектрального анализа.

Угловые моменты силы гравитации от Юпитера и Сатурна содержат синодическую и сидерическую составляющие, связанные с периодом обращения планет вокруг Солнца - рис. 7. Амплитуда сидерической составляющей момента силы гравитации Сатурна на порядок меньше, чем амплитуда момента силы гравитации Луны, сидерическая составляющая момента силы гравитации Юпитера в три раза меньше, чем от Сатурна (хотя масса Юпитера в 3,35 раза превосходит массу Сатурна). Амплитуды синодической и сидерической составляющей углового момента силы гравитации Юпитера соизмеримы между собой

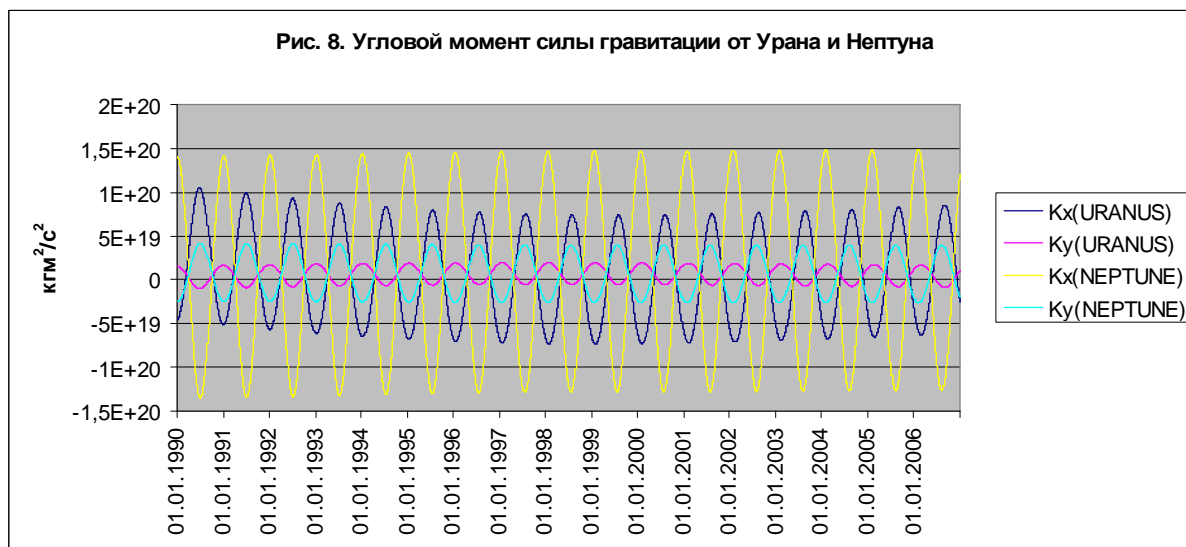
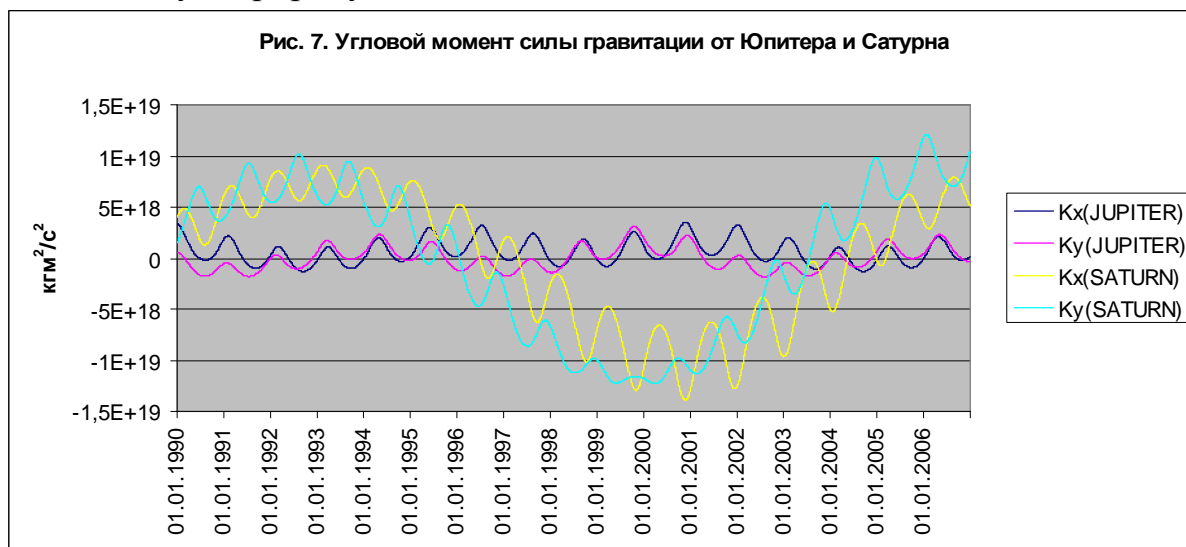




Амплитуда колебаний углового момента силы гравитации от Урана и Нептуна приблизительно совпадает с амплитудой углового момента силы гравитации Солнца и Луны соответственно - рис. 8.

Корреляция сейсмических событий и индукции магнитного поля Земли с угловым моментом сил гравитации небесных тел

Заметное влияние Урана и Нептуна на движение полюса требует пояснения. Во-первых, как было установлено в работе /23/, Уран и Нептун оказывают столь же сильное влияние и на магнитное поле Земли. Во-вторых, как было показано в работе /1/, существуют значимые коэффициенты корреляции средних параметров сейсмической активности с комплексами P_{ik} Урана и Нептуна. Следовательно, сильное воздействие Урана и Нептуна на движение полюса, сейсмическую активность и магнитное поле Земли обусловлено общим механизмом, который, видимо, имеет релятивистскую природу /1/.



Действительно, во вращающейся системе координат, в которой справедливо уравнение (1), Нептун движется с субсветовой скоростью (см. /1/– рис. 4). В свою очередь, во вращающейся системе координат, связанной с Ураном, Земля движется с субсветовой скоростью (см. /1/ - рис 8). И хотя в этих случаях выбранные системы координат не являются инерциальными, тем не менее, скорость света остается важным параметром, характеризующим причинные связи, как в гравитационном, так и в электромагнитном взаимодействии.

Рассмотрим вопрос о корреляции параметров сейсмических событий с угловым моментом сил гравитации небесных тел. В таблицах 2-3 приведены коэффициенты корреляции параметров сейсмической активности, вычисленных по данным /5/, с комплексами P_{ik} и компонентами углового момента соответственно. В силу сложившихся научных представлений о механизме землетрясений, обусловленном механическими напряжениями в горных породах, можно было бы предположить, что угловой момент сил является более значимым параметром для сейсмических событий, нежели комплексы P_{ik} (7). В действительности, однако, коэффициенты корреляции средних за сутки параметров сейсмических событий с комплексами P_{ik} Урана и Нептуна значительно превосходят по абсолютной величине аналогичные коэффициенты корреляции с компонентами углового момента сил – см. таблицы 2-3.

В таблицах 4-5 приведены коэффициенты корреляции вертикальной компоненты индукции магнитного на восьми станциях по данным /4/ с комплексами P_{ik} и компонентами углового момента соответственно. В этом случае, как и в случае сейсмических событий, коэффициенты корреляции с комплексами P_{ik} Урана и Нептуна значительно превосходят по

абсолютной величине аналогичные коэффициенты корреляции с компонентами углового момента сил – см. таблицы 4-5.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции средних параметров сейсмической активности с комплексами P_{ik} Сатурна, Урана и Нептуна на протяжении 6009 дней: SUM, SUM_M, SUM_E, SUM_V – ежедневное число, суммарная магнитуда, суммарная энергия и суммарный объем землетрясений с магнитудой $m_b \geq 4$; AVR_M, AVR_E, AVR_V – средние значения магнитуды, энергии и объема.

	SATURN1	SATURN2	SATURN3	URANUS1	URANUS2	URANUS3	NEPTUNE1	NEPTUNE2	NEPTUNE3
SUM	-0,194	0,0703	0,0513	0,127	-0,419	-0,201	0,0279	-0,421	-0,401
SUM_M	-0,184	0,0685	0,0358	0,115	-0,389	-0,179	0,0256	-0,391	-0,37
SUM_E	-0,136	0,0817	-0,031	0,061	-0,268	-0,0813	0,00564	-0,272	-0,241
SUM_V	-0,135	0,0474	0,106	0,0482	-0,277	-0,187	-0,026	-0,272	-0,283
AVR_M	0,258	0,0241	-0,425	-0,211	0,632	0,569	-0,0157	0,615	0,697
AVR_E	0,244	-0,008	-0,271	-0,14	0,518	0,416	0,00801	0,508	0,555
AVR_V	0,231	-0,0128	-0,25	-0,135	0,492	0,386	0,0045	0,483	0,523

Таблица 3. Коэффициенты корреляции средних параметров сейсмической активности с угловым моментом сил гравитации от Сатурна, Урана и Нептуна на протяжении 6009 дней: SUM, SUM_M, SUM_E, SUM_V – ежедневное число, суммарная магнитуда, суммарная энергия и суммарный объем землетрясений с магнитудой $m_b \geq 4$; AVR_M, AVR_E, AVR_V – средние значения магнитуды, энергии и объема.

	Kx(SATURN)	Ky(SATURN)	Kx(URANUS)	Ky(URANUS)	Kx(NEPTUNE)	Ky(NEPTUNE)
SUM	-0,126	-0,0147	-0,0421	0,0136	0,0279	-0,0279
SUM_M	-0,109	-0,00073	-0,0365	0,00998	0,0256	-0,0256
SUM_E	-0,038	0,061	-0,00438	-0,0139	0,00564	-0,00564
SUM_V	-0,147	-0,0816	0,00602	-0,0247	-0,026	0,026
AVR_M	0,446	0,392	0,0964	-0,0537	-0,0157	0,0157
AVR_E	0,317	0,236	0,0424	-0,00739	0,00801	-0,00801
AVR_V	0,296	0,216	0,042	-0,00876	0,0045	-0,0045

Таблица 4. Коэффициенты корреляции вертикальной компоненты индукции магнитного поля земли по данным /4/ с комплексами P_{ik} Сатурна, Урана и Нептуна на протяжении 6009 дней.

Station	SATURN1	SATURN2	SATURN3	URANUS1	URANUS2	URANUS3	NEPTUNE1	NEPTUNE2	NEPTUNE3
GNA	-0,294	0,494	-0,103	0,187	-0,941	-0,119	-0,0156	-0,956	-0,806
GUA	-0,438	0,233	0,43	0,272	-0,965	-0,649	0,00239	-0,946	-0,984
IRT	-0,429	0,0404	0,538	0,282	-0,887	-0,781	0,0224	-0,86	-0,971
KAK	-0,436	0,0292	0,55	0,28	-0,882	-0,793	0,0195	-0,855	-0,97
MMB	-0,437	0,0749	0,503	0,281	-0,911	-0,754	0,0196	-0,887	-0,979
RES	0,344	-0,109	-0,344	-0,124	0,879	0,612	0,141	0,871	0,911
THL	0,136	0,21	-0,408	0,117	0,413	0,584	0,309	0,4	0,542
DRV	-0,393	0,278	0,252	0,378	-0,932	-0,481	0,151	-0,927	-0,893

Таблица 5. Коэффициенты корреляции вертикальной компоненты индукции магнитного поля земли по данным /4/ с угловым моментом сил гравитации от Сатурна, Урана и Нептуна на протяжении 6009 дней.

Station	Kx(SATURN)	Ky(SATURN)	Kx(URANUS)	Ky(URANUS)	Kx(NEPTUNE)	Ky(NEPTUNE)
GNA	-0,114	0,208	0,0168	-0,0793	-0,0156	0,0156
GUA	-0,564	-0,339	-0,0836	0,0177	0,00239	-0,00239
IRT	-0,617	-0,474	-0,119	0,0588	0,0224	-0,0224
KAK	-0,625	-0,485	-0,119	0,0591	0,0195	-0,0195
MMB	-0,594	-0,433	-0,112	0,0504	0,0196	-0,0196
RES	0,434	0,283	-0,0472	0,106	0,141	-0,141
THL	0,353	0,416	-0,189	0,216	0,309	-0,309
DRV	-0,405	-0,162	-0,196	0,133	0,151	-0,151

Полученные результаты означают, что механизм влияние Урана и Нептуна на сейсмические события и магнитное поле Земли, установленное в работах /1, 23/, отличается от механизма влияния этих небесных тел на движение полюса Земли. Можно предположить, что Уран и Нептун влияют на земные процессы через посредство как гравитационного, так и электромагнитного поля. При этом основной вклад в изменение механического

момента Земли вносят комплексы URANUS1 и NEPTUNE1, а в изменении магнитного момента Земли дают вклад комплексы URANUS2, URANUS3 и NEPTUNE2, NEPTUNE3. Следовательно, аналогия магнитных и гравитомагнитных сил не является полной. Это нарушение, видимо, связано с тем, что магнитное поле Земли не подобно ее гравитомагнитному полю. Действительно, электрический заряд земли в значительной мере экранируется ионосферой, тогда как для гравитационной массы нет аналогичного явления экранирования. Асимметрия магнитного поля Земли проявляется как в отклонении вектора магнитного момента от вектора механического момента, так и в значительных местных вариациях, намного превосходящих аналогичные гравитомагнитные вариации.

В то же время механизм влияния Сатурна на сейсмические события, магнитное поле и движение полюса Земли, видимо, является однотипным, что следует из сравнения соответствующих коэффициентов корреляции в таблицах 2-5. Для сравнения укажем, что Солнце и Луна влияют на сейсмические события преимущественно через комплексы SUN3, MOON3 соответственно. Можно предположить, что Сатурн влияет на земные процессы как через гравитационное поле, так и через электромагнитное поле. Отметим также, что кольца Сатурна свидетельствуют о наличии большого электрического заряда у этой планеты.

Ранее было установлено [10-11], что основная частота колебаний системы (4), определенная на разных промежутках времени, не является постоянной. Для нахождения частот, система уравнений (9) записывается с учетом вязкости в виде [1/

$$\begin{aligned} X(n) &= a_1 X(n) + a_{12} Y(n) + b_1 + \sum_{j,k} c_{jk} P_{jk}(n), \quad 1 \leq n \leq N \\ Y(n) &= a_2 Y(n) + a_{21} X(n) + b_2 + \sum_{j,k} d_{jk} P_{jk}(n), \quad 1 \leq n \leq N \end{aligned} \quad (10)$$

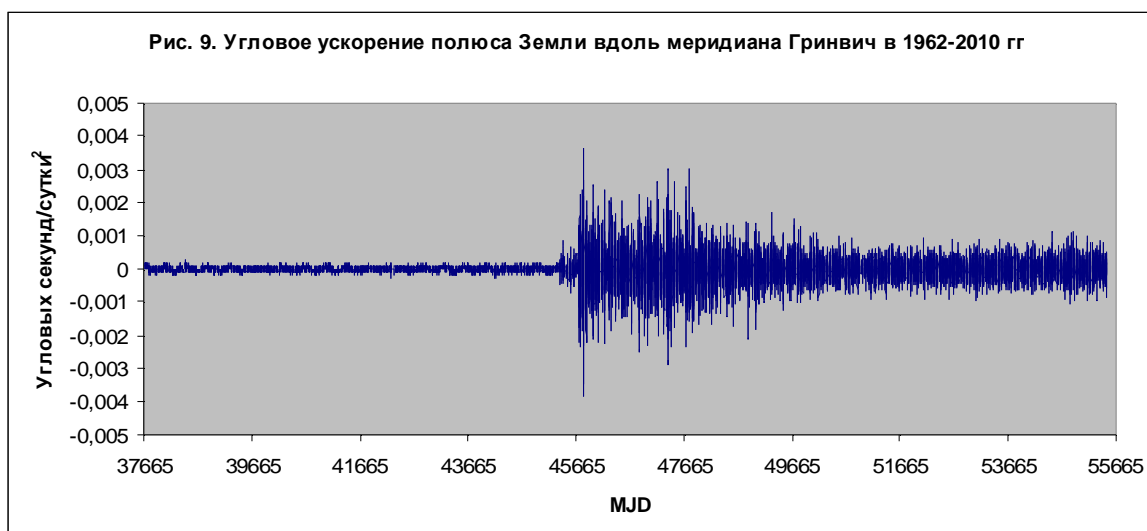
Вычисленные по данным /3/ частоты и коэффициенты вязкости зависят от исследуемого интервала – см. таблицу 6. Период чандлеровских колебаний, определенный в интервале 1990-2006 гг близок по величине к стандарту IERS – 433,1 средних солнечных суток (см. таблицу 1). В интервал 1963-1980 периоды колебаний по двум осям, определенные согласно (10), не совпадают. В этом случае применяется более сложная модель /1/, позволяющая усреднить периоды колебаний в интервале 1963-2006 гг. Полученный в результате период – 428,9 средних солнечных суток, близок по величине к периоду 428 дней, который впервые установил в 1891 г американский астроном Сет Карло Чандлер. Вязкость системы в двух из трех исследованных интервалах времени проявляется лишь при движении полюса вдоль меридиана 90°W, тогда как при движении вдоль меридиана Гринвич в 1963-1980 и в 1990-2006 гг наблюдалось усиление амплитуды колебаний.

Таблица 6. Период чандлеровских колебаний (средних солнечных суток) и параметр вязкости (1/средние солнечные сутки), определенные согласно (10) на различных интервалах времени по данным /3/

Интервал	1963-1980	1963-1980	1963-2006	1963-2006	1990-2006	1990-2006
Координата	X	Y	X /1/	Y /1/	X	Y
Период чандлеровских колебаний	405,5779	455,8302	428,9089	428,9089	433,581	433,581
Параметр вязкости	0,000373	-0,00295	-0,0003	-0,00023	0,000306	-0,00022

Наконец, заметим, что современная методика вычисления координат полюса /25/ меняется по мере развития астрономических методов измерения. Так, например, точность определения координат полюса возросла на три порядка с 1963 по 2006 гг. Следовательно, ряды данных /3/ в исследованном периоде 1963-2006 гг. являются разнородными, хотя они и относятся к одним и тем же координатам.

Действительно, угловое ускорение полюса Земли, вычисленное по данным /3/, содержит случайную составляющую. Увеличение точности измерения координат на три порядка привело к росту на порядок величины амплитуды случайной составляющей в ускорении - рис. 9. Такой разброс данных значительно усложняет задачу определения момента сил, влияющего на динамику вращения нашей планеты.



В современной теории случайная составляющая в ускорении полюса объясняется влиянием атмосферных и океанических течений /14-21/. Имеются попытки объяснить чандлеровские колебания флуктуациями давления в стратифицированном придонном слое океана - см. например, <http://www.jpl.nasa.gov/news/releases/2000/chandlerwobble.html>. Однако реально механизм возбуждения чандлеровских колебаний, видимо, нельзя объяснить только геофизическими процессами /7/. Предложенная же выше модель, в которой чандлеровские колебания описываются совокупным влиянием небесных тел, нуждается в дальнейшем развитии. Ниже предложен механизм влияния Урана и Нептуна на сейсмические события, магнитное поле Земли и на движение полюса.

Гравитомагнетизм

Согласно ОТО, метрические коэффициенты и интервал (пространственный и 4-х мерный) в слабом гравитационном поле зависят от величины гравитационного потенциала /24, 26-27/:

$$g_{00} = 1 + \frac{2j}{c^2}, \quad g_{ab} = \left(1 - \frac{2j}{c^2}\right) d_{ab}$$

$$dl^2 = g_{ab} dx^a dx^b$$

$$ds^2 = g_{ab} dx^a dx^b + 2g_{0a} dx^0 dx^a + g_{00} (dx^0)^2 \quad (12)$$

$$g_{ab} = -g_{ab} + g_{00} g_a g_b$$

$$g_a = -\frac{g_{0a}}{g_{00}}$$

В стационарном гравитационном поле сила, действующая на массивную частицу, определяется в виде /26/

$$\mathbf{f} = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} \left(-\nabla \ln \sqrt{g_{00}} + \sqrt{g_{00}} \left[\frac{\mathbf{u}}{c} \text{rot } \mathbf{g} \right] \right) \quad (13)$$

При малой скорости движения тела, $u \ll c$, отсюда находим

$$\mathbf{f} = m \left(-\nabla j + \left[\frac{\mathbf{u}}{c} \text{rot } \mathbf{g} \right] \right) \quad (14)$$

Выражение (14) можно сравнить с известным в классической электродинамике выражением силы Лоренца, действующей на заряд в постоянном электрическом и магнитном поле:

$$\mathbf{f} = q \left(-\nabla f + \left[\frac{\mathbf{u}}{c} \text{rot } \mathbf{A} \right] \right) \quad (15)$$

Здесь f, \mathbf{A} - скалярный и векторный потенциал соответственно. Как известно, пара потенциалов f, \mathbf{A} описывает электромагнитное поле. Аналогично пара потенциалов j, \mathbf{g} определяет гравитоэлектромагнитное поле (GEM). Отметим, что уравнения GEM поля аналогичны уравнениям Максвелла [24, 27]. Комплексы, задаваемые уравнениями (7), были выбраны для моделирования вариаций магнитного поля и движения полюса Земли с учетом этой аналогии.

Действительно, закон Кулона для потенциала заряда является аналогичным закону Ньютона для потенциала массивного тела. Вдали от вращающегося массивного тела справедливо выражение

$$\mathbf{g} = \frac{2G}{c^3 r^3} [\mathbf{rL}] \quad (16)$$

Здесь \mathbf{L} – вектор полного момента вращения тела. Аналогичное выражение справедливо для векторного потенциала тела, обладающего магнитным диполем

$$\mathbf{A} = \frac{1}{r^3} [\mathbf{rM}] \quad (17)$$

Здесь \mathbf{M} – вектор магнитного момента тела.

Возвращаясь к задаче о взаимодействии небесных тел, обладающих магнитными и гравитомагнитными полями, отметим, что отмеченная неполная аналогия гравитационных и электромагнитных сил находит объяснение в особенности, присущей вращению системы координат. Согласно [26] во вращающейся системе координат возникает стационарное гравитационное поле, которое приводит к изменению метрики пространства. Для

интервала во вращающейся системе координат справедливо выражение (см. /26/, стр. 329):

$$ds^2 = (c^2 - \Omega^2 r^2) dt^2 - 2\Omega r^2 d\varphi dt - dz^2 - r^2 d\varphi^2 - dr^2 \quad (18)$$

Из этого выражения следует, что в случае $\Omega r \rightarrow c$ метрический тензор имеет особенность, $g_{00} \rightarrow 0$, что приводит к усилению гравитоманнитных эффектов, согласно последнему уравнению (12) и уравнению (13).

В классической теории поля взаимодействие гравитационного поля и электромагнитного поля возможно даже в пустом пространстве за счет изменения интервала. Уравнения электродинамики Максвелла в гравитационном поле имеют вид (см. /26/, стр 333):

$$\begin{aligned} \mathbf{D} &= \mathbf{E} / \sqrt{g_{00}} - [\mathbf{gH}], \quad \mathbf{B} = \mathbf{H} / \sqrt{g_{00}} + [\mathbf{gE}] \\ \text{rot } \mathbf{E} &= -\frac{1}{c\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial t} \sqrt{g} \mathbf{B}, \quad \text{div } \mathbf{D} = 4pr \\ \text{rot } \mathbf{H} &= \frac{1}{c\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial t} \sqrt{g} \mathbf{D} + \frac{4p}{c} \mathbf{j}, \quad \text{div } \mathbf{B} = 0 \\ \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial t} \sqrt{g} r + \text{div } \mathbf{j} &= 0 \\ j^a &= r dx^a / dt, \quad a = 1, 2, 3. \end{aligned} \quad (19)$$

Здесь использованы стандартные обозначения для векторов напряженности электрического и магнитного поля, для электрической и магнитной индукции, плотности электрического заряда и тока.

Как следует из первых двух уравнений (19), усиление гравитоманнитного поля при условии $g_{00} \rightarrow 0$ приводит к усилению электромагнитного поля. Однако эти эффекты не подобны, так как, например, возмущение индукции магнитного поля Земли пропорционально векторному

произведению напряженности гравитомагнитного поля и электрического поля Земли. Следовательно, возмущения индукции магнитного поля Земли и ее гравитомагнитного поля ортогональны в этом случае, т.е. представлены различными компонентами вектора (7). Но этот эффект наблюдается только при взаимодействии Земли с Ураном и Нептуном (см. /1/), что подтверждается данными, приведенными в таблицах 2-5.

Прогноз движения полюса Земли, климата, параметров сейсмической активности и социально-экономических категорий

Было установлено, что колебания полюса Земли связаны с синоптическими процессами в атмосфере, следовательно, используя прогноз для вариаций угловой скорости вращения, можно предсказать синоптические процессы /20-21/. В указанных работах была высказана гипотеза, что колебания полюса Земли можно использовать для предсказания сейсмической и вулканической активности, а также эпидемий и социально-экономических категорий.

Однако прогноз движения полюса Земли является сложной задачей, которая не нашла еще окончательного решения. Благодаря систематическим наблюдениям за положением внегалактических радиоисточников на основе сети станций VLBI, была реализована Международная небесная система координат ICRS, точность определения осей которой составляет 10^{-5} угловой секунды (IERS, 2009). Столь высокая степень точности определения параметров вращения нашей планеты стала доступна лишь в последнее время.

Отметим, что современная модель /25/ содержит 80380 параметров (сводные таблицы 5.2a, 5.2b, 5.2c, 5.3a, 5.3b, 5.4 из раздела 5 с сайта <ftp.maia.usno.navy.mil>), отражающих, в том числе, приливное воздействие небесных тел с учетом взаимного относительного движения атмосферы, океана и коры.

Данные, приведенные в таблицах 2-5 и в работах /1-2, 23, 28-30/ свидетельствуют, что прогноз сейсмической активности, вариаций магнитного поля и движения полюса Земли можно осуществлять на основе астрономических параметров небесных и, в том числе, с использованием комплексов P_{ik} , отражающих подобие гравитационного и электромагнитного взаимодействия в Солнечной системе. Кроме того, в работах /31-33/ и других было показано, что по астрономическим параметрам небесных тел можно прогнозировать социальные категории, используя систему искусственного интеллекта /34/. В работах /35-36/ были развиты модели прогнозирования курсов валют и фондового индекса S&P 500 на основе систем и алгоритмов /31-34/.

Таким образом, гипотеза о всеобщей взаимосвязи процессов, протекающих на нашей планете и охватывающих различные сферы – ноосферу, магнитосферу, атмосферу, земную кору, ядро и т.п., находит свое подтверждение в перечисленных исследованиях /1-2, 23, 28-36/ и других работах. Однако источником возмущений в этих сферах является не движение оси вращения Земли само по себе, а движение небесных тел Солнечной системы относительно нашей планеты и, видимо, движение самой Солнечной системы относительно центра Галактики и скопления галактик в созвездии Девы /37/.

В плане развития идей, содержащихся в работе /38/, заметим, что визуализация матрицы информативностей послужила главным аргументом к установлению влияния Урана и Нептуна на магнитное поле Земли и сейсмические события /1, 23/.

В современной физике есть много идеализированных законов, основанных на гипотезе причинности событий. В этих законах предполагается, что функциональные соотношения между величинами являются точными. Между тем, сами величины, при их измерении, содержат ошибки, что ис-

ключает возможность проверки исходных гипотез. Например, координаты движения полюса Земли определяются в настоящее время с точностью 10^{-5} угловой секунды, что позволяет представить координаты как довольно гладкие функции времени. Однако вторая производная координат, которая входит в закон Ньютона, содержит, видимо, случайную составляющую. Поэтому повышение точности измерения координат не изменяет или даже ухудшает точность определения их второй производной — см. рис. 9.

Следовательно, предполагаемая причинность событий в соответствии с законом Ньютона, в котором зависимость координат от времени является точной, заведомо не выполняется. В этом смысле любые оценки действующих сил и моментов, входящих в закон Ньютона, являются произвольными, что хорошо видно при анализе современной теории вращения Земли, в которой неизвестные силы заменяются гипотетическими силами, обусловленными неизвестным движением в атмосфере, Мировом океане и в мантии /14-21, 25/. В таком случае с равным успехом можно моделировать неизвестные силы, как обусловленные только влиянием небесных тел, что и было показано в настоящей работе, а так же в цитированных работах /1-2, 23/.

Для решения указанной проблемы моделирования причинно-следственных зависимостей в работе /38/ предложено использовать метод автоматизированного системно-когнитивного анализа, который ранее с успехом применялся во многих работах, включая /1, 23, 28-37/. Учитывая хорошее согласие данных /3/ и функциональных зависимостей, представленных комбинациями параметров небесных тел в форме (7) — см. рис. 1-2, можно использовать для этих целей систему искусственного интеллекта «Эйдос-астра» /34/, в которой в число входных параметров входят долгота, широта и расстояние – R, от Земли до небесных тел. Вопросы моделирования движения полюса Земли на основе АСК-анализа будут рассмотрены в наших следующих работах.

Литература

1. Трунев А.П. Моделирование электромагнитного и гравитационного влияния небесных тел солнечной системы на смещение географического полюса и магнитное поле Земли// Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – №07(61). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2010/07/pdf/16.pdf>
2. Alexander Trounev. ESTIMATION OF THE CELESTIAL BODIES GRAVITATION IMPACT ON THE EARTH POLAR MOTION// Chaos and Correlation, October 28, 2010, http://chaosandcorrelation.org/Chaos/CR10_2010.pdf
3. Earth orientation centre / <http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/>
4. World Data Centre for Geomagnetism (Edinburgh)/ <http://www.wdc.bgs.ac.uk/catalog/master.html>
5. International Seismological Center/ <http://www.isc.ac.uk/>
6. Акуленко Л.Д., Кумакшев С.А., Марков Ю.Г., Рыхлова Л.В. Модель движения полюса деформируемой Земли, адекватная астрометрическим данным// Астрон. ж. - 2002. - Т. 79. - N 1. - С. 81-89.
7. Л.Д. Акуленко, С.А. Кумакшев, А.М. Шматков. Возмущенное вращение Земли// http://www.ipmnet.ru/~kumak/Earth/eop_theory_rus.pdf
8. Зотов Л. В. Вращение Земли: анализ вариаций и их прогнозирование / Дис. на соискание уч. степени к.ф.м.н., специальность 01.03.01 - астрометрия и небесная механика, Москва, 2005.
9. Vicente, R.O., Wilson 1997, C.R., JGR, Vol. 102, B9, pp 20439-20446
10. Malkin, Z., & Terentev, D. Parameters of the Free Core Nutation from VLBI Data. 2007, arXiv:physics/0702152
11. Пономарева О.В.. О механизме возмущения периодического движения полюса земли планетами солнечной системы// http://kcs.dvo.ru/ivs/publication/volc_day/2007/art20.pdf
12. Dehant, V., P. Defraigne. New Transfer Functions for Nutation of a Nonrigid Earth. J. Geophys. Res., 1997, 102, 27659–27687.
13. Shirai, T., T. Fukushima. Did Huge Earthquake Excite Free Core Nutation? J. Geodetic Soc. Japan, 2001, 47, No 1, 198–203.
14. Gross R.S. The effect of ocean tides on the Earth's rotation as predicted by the results of an ocean tide model.// Geophys. Res. Lett., 1993, V.20, P.293-296.
15. Chao B.F., Ray R.D., Gipson J.M., Egbert G.D., Ma C. Diurnal/semidiurnal polar motion excited by oceanic tidal angular momentum.//J. Geophys. Res., 1996, V. 101, P. 20151-20136.
16. Ray R.D., Steinberg D.J., Chao B.F., Cartwright D.E. Diurnal and semidiurnal variations in the Earth's rotation rate induced by oceanic tides.// Science, 1994, V.264, P. 830-832
17. Brzezinski A. High frequency atmospheric excitation of Earth rotation.// IERS TN No 28, High frequency to subseasonal variations in Earth Rotation, Observatoire de Paris, September 2000, p.53.
18. Zharov V.E. Gambis D. Bizouard Ch. Diurnal and sub-diurnal variations of the Earth rotation.// IERS TN No 28, High frequency to subseasonal variations in Earth Rotation, Observatoire de Paris, September 2000.
19. Schuh H., Richter B., Nagel S. Analysis of long time series of polar motion.// ASP Conference Series, Vol. 208, 2000, P. 321
20. Сидоренков Н. С. Атмосферные процессы и вращение Земли. Гидрометеоиздат, СПб., 2002.

21. Сидоренков Н.С.. НЕСТАБИЛЬНОСТЬ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ//ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, том 74, № 8, с. 701-715 (2004)
22. Викулин А. В., Кролевец А. Н..ЧАНДЛЕРОВСКОЕ КОЛЕБАНИЕ ПОЛЮСА И СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС//Геология и геофизика, 2001, № 6, т. 42, с. 996-1009
23. Трунев А.П., Луценко Е.В. Семантические информационные модели глобальной сейсмической активности при смещении географического и магнитного полюса // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – №02(56). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2010/02/pdf/15.pdf>
24. M. Agop, C. Gh. Buzea, B. Ciobanu. On Gravitational Shielding in Electromagnetic Fields// arXiv:physics/9911011, 1999, <http://www.arxiv.org/abs/physics/9911011>
25. IERS Conventions (2010). G´erard Petit1 and Brian Luzum (eds.), IERS Technical Note No. 36, Frankfurt am Main, 2010.
26. Ландау Л.Д, Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т.2. Теория поля. – 7 изд. – М.: Наука. - 1988. - 512 с.
27. M. L. Ruggiero, A. Tartaglia. Gravitomagnetic effects// Nuovo Cim. 117B (2002) 743—768, <http://arxiv.org/abs/gr-qc/0207065>
28. А.П. Трунев, Е.В. Луценко. Прогнозирование землетрясений по астрономическим данным с использованием системы искусственного интеллекта // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2009. – №08(52). – Шифр Информрегистра: 0420900012\0086. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2009/08/pdf/13.pdf>
29. А.П. Трунев, Е.В. Луценко. Прогнозирование сейсмической активности и климата на основе семантических информационных моделей // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2009. – №09(53). – Шифр Информрегистра: 0420900012\0098. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2009/09/pdf/09.pdf>
30. А.П. Трунев, Е.В. Луценко. Системно-когнитивный анализ и прогнозирование сейсмической активности литосферы Земли, как глобальной активной геосистемы // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – №01(55). – Шифр Информрегистра: 0421000012\0001. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2010/01/pdf/22.pdf>
31. Е.В. Луценко, А.П. Трунев. Астросоциотипология и спектральный анализ личности по астросоциотипам с применением семантических информационных мультимodelей // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2008. – №01(35). – Шифр Информрегистра: 0420800012\0002. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2008/01/pdf/10.pdf>
32. Е.В. Луценко, А.П. Трунев. Artificial intelligence system for identification of social categories of natives based on astronomical parameters // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2008. – №03(37). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2008/03/pdf/07.pdf>
33. Трунев А. П., Луценко Е. В. Астросоциотипология: Монография (научное издание). – Краснодар: КубГАУ, 2008, – 279 с.
34. Patent 2008610097, Russia, System for Typification and Identification of the Social Status of Respondents Based on the Astronomical Data at the Time of Birth - "AI-DOS-ASTRO" / E.V. Lutsenko, A.P. Trunev, V.N. Shashin; Application № 2007613722, January 9, 2008.
35. Трунев А.П. Прогнозирование курсов валют по астрономическим данным с использованием системы искусственного интеллекта// Научный журнал

- КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2009. – №07(51). – Шифр Информрегистра: 0420900012\0068. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2009/07/pdf/15.pdf>
36. А.П. Трунев, Е.В. Луценко. Корреляция фондового индекса s & p 500 с астрономическими и геофизическими параметрами (Системно-когнитивный анализ взаимосвязи ноосферы, литосферы, магнитосферы и космической среды) // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – №03(57). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2010/03/pdf/13.pdf>
37. А.П. Трунев, Е.В. Луценко. Фундаментальные закономерности распознавания социальных категорий по астрономическим данным на момент рождения // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2008. – №10(44). – Шифр Информрегистра: 0420800012\0138. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2008/10/pdf/01.pdf>
38. Луценко Е.В. Когнитивные функции как адекватный инструмент для формального представления причинно-следственных зависимостей / Е.В. Луценко // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – №09(63). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2010/09/pdf/01.pdf>