

УДК 521.937+537.67+550.2+550.385.1+303.732.4

UDC 521.937+537.67+550.2+550.385.1+303.732.4

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СИСТЕМО-КОГНИТИВНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ НА ДВИЖЕНИЕ ПОЛЮСА ЗЕМЛИ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ В ВИДЕ КОГНИТИВНЫХ ФУНКЦИЙ**

**SYSTEMIC-COGNITIVE ANALYSIS OF THE CELESTIAL BODIES' IMPACT ON THE EARTH POLAR MOTION AND VIZUALIZATION OF THE CAUSATION IN THE FORM OF COGNITIVE FUNCTIONS**

Трунев Александр Петрович  
к. ф.-м. н., Ph.D.  
*Директор, A&E Trounev IT Consulting, Торонто, Канада*

Alexander Trunev  
Cand.Phys.-Math.Sci., Ph.D.  
*Director, A&E Trounev IT Consulting, Toronto, Canada*

Луценко Евгений Вениаминович  
д. э. н., к. т. н., профессор  
*Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия*

Lutsenko Evgeny Veniaminovich  
Dr. Sci. Econ., Cand. Tech. Sci., Professor  
*Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia*

Бандык Дмитрий Константинович,  
Разработчик интеллектуальных систем  
*Белоруссия*

Bandyk Dmitriy Konstantinivich  
Intellectual systems developer  
*Belarus*

На основе семантических информационных моделей исследована зависимость параметров движения полюса Земли от положения небесных тел

Dependence of the Earth polar motion on celestial bodies' positions is examined on the basis of semantic information models

Ключевые слова: ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ, ДВИЖЕНИЕ ПОЛЮСА ЗЕМЛИ, НУТАЦИЯ, ПРЕЦЕССИЯ, СЕМАНТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ

Keywords: COMPUTATIONAL EXPERIMENT, EARTH POLAR MOTION, NUTATION, PRECESSION, SEMANTIC INFORMATION MODELS

**Введение**

В работах /1-3/ развита модель вынужденной нутации, основанная на гипотезе о существовании гравитационного механизма обмена механическим моментом в Солнечной системе. На основе данных /4-6/ и модели /1/ была сделана оценка момента сил, обусловленного гравитационным воздействием небесных тел на нашу планету в период с 1963 по 1980 гг /2/ и в 1990-2006 гг /3/, а также исследованы механизмы взаимного влияния сейсмических событий, вариаций магнитного поля Земли и движения полюса.

В настоящей работе обсуждается технология моделирования и прогнозирования движения полюса Земли на основе системы искусственного интеллекта «Эйдос-астра» /7/ с использованием семантических информационных моделей и АСК-анализа /8-11, 23-24/. Путем визуализации мат-

рицы информативностей сделана качественная оценка динамики движения полюса Земли.

### **Задача о распознавании категорий событий в поле центральных сил**

Рассмотрим задачу распознавания категорий по астрономическим данным /8-11/. Имеется множество событий  $A$ , которому ставится в соответствие множество категорий  $C_i$ . Событиями можно считать измерение координат полюса Земли, а категориями – значение координат, лежащее в определенном интервале. Каждое такое событие характеризуется моментом времени и географическими координатами места его происхождения (которые в данной задаче фиксированны). По этим данным можно построить матрицу, содержащую координаты небесных тел, например углы долготы, широты и расстояния. Будем считать, что заданы частотные распределения  $N_i$  – число событий, имеющих отношение к данной категории  $C_i$ .

Определим число случаев реализации данной категории, которое приходится на заданный интервал изменения астрономических параметров, имеем в дискретном случае:

$$N_{ij}(x_j, k) = N_i w(\tilde{x}_j, k) \Delta x, \quad x_j < \tilde{x}_j < x_j + \Delta x$$

$$1 \leq i \leq n, \quad 1 \leq j \leq 2m, \quad k = 1, \dots, k_0 \quad (1)$$

Здесь  $w$  – плотность распределения событий вдоль нормированной координаты. Нормированная переменная определяется через угловую и радиальную координаты следующим образом:

$$x_{jk} = \begin{cases} J_j(k) / 2p, & 1 \leq j \leq m \\ \frac{r_{\max}(k) - r(k)}{r_{\max}(k) - r_{\min}(k)}, & m + 1 \leq j \leq 2m \end{cases}$$

где  $r_{\min}, r_{\max}$  – минимальное и максимальное удаление планеты от центра масс системы,  $k_0$  – число небесных тел, используемых в задаче.

Определим матрицу информативностей согласно /12/

$$I_{ijk} = \log_2 \frac{N_{ij} / \sum N_{ij}}{\sum_i N_{ij} / \sum_{i,j} N_{ij}}, N_{ij}(x_{jk}) \neq 0$$

$$I_{ijk} = 0, N_{ij}(x_{jk}) = 0,$$

$$dI_{jk} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i \left( I_{ijk} - \frac{1}{n} \sum_i I_{ijk} \right)^2}$$

$$1 \leq i \leq n, \quad 1 \leq j \leq 2m, \quad 1 \leq k \leq k_0 \tag{2}$$

Первая величина (2) называется информативность признака, а вторая величина является стандартным отклонением информативности или интегральной информативностью (ИИ).

Каждой категории можно сопоставить вектор информативности астрономических параметров размерности  $2mk_0$ , составленный из элементов матрицы информативности, путем последовательной записи столбцов, соответствующих нормированной координате, в один столбец, т.е.

$$c_{is} = I_{ijk} \Big|_{jk=s}, \quad 1 \leq s \leq 2mk_0 \tag{3}$$

С другой стороны, процесс идентификации, распознавания и прогнозирования может рассматриваться как разложение вектора распознаваемого объекта в ряд по векторам категорий (классов распознавания) /12/. Этот вектор, состоящий из единиц и нулей, можно определить по координатам небесных тел, соответствующих дате и месту происхождения события  $l$  в виде

$$a_{ls} = \begin{cases} 1, & (j-1)\Delta x \leq x_{jk}(l) \leq j\Delta x, \quad jk = s \\ 0, & 1 \leq s \leq 2mk_0 \end{cases} \tag{4}$$

Таким образом, если нормированная координата небесного тела из данных по объекту исследуемой выборки попадает в заданный интервал, элементу вектора придается значение 1, а во всех остальных случаях – зна-

чение 0. Перечисление координат осуществляется последовательно, для каждого небесного тела.

В случае, когда система векторов (3) является полной, можно точно любой вектор (4) представить в виде линейной комбинации векторов системы (3). Коэффициенты этого разложения будут соответствовать уровню сходства данного события с данной категорией. В случае неполной системы векторов (3) точная процедура заменяется распознаванием или разложением в ряд с некоторой погрешностью. При этом уровень сходства данного события с той или иной категорией можно определить по величине скалярного произведения вектора (4) на вектор (3), т.е. в координатной форме:

$$K_{il} = \frac{1}{|a_l||c_i|} \sum_{s=1}^{2mk_0} a_{ls} (A) c_{is} \quad (5)$$

Отметим, что возможны четыре исхода, при которых можно истинно или ложно отнести или не отнести данное событие к данной категории. Для учета этих исходов распознавание категорий в системе искусственного интеллекта «Эйдос-астра» /7/ осуществляется по параметру сходства, который определяется следующим образом /12/:

$$S_i = \frac{1}{N} \sum_{l=1}^N (BT_{il} + T_{il} - BF_{il} - F_{il}) \cdot 100 \% \quad (6)$$

$S_i$  – достоверность идентификации « $i$ -й» категории;

$N$  – количество событий в распознаваемой выборке;

$BT_{il}$  – уровень сходства « $l$ -го» события с « $i$ -й» категорией, к которой он был правильно отнесен системой;

$T_{il}$  – уровень сходства « $l$ -го» события с « $i$ -й» категорией, к которой он был правильно не отнесен системой;

$BF_{il}$  – уровень сходства « $l$ -го» события с « $i$ -й» категорией, к которой он был ошибочно отнесен системой;

$F_{ii}$  – уровень сходства « $l$ -го» события с « $i$ -й» категорией, к которой он был ошибочно не отнесен системой.

При таком определении параметр сходства изменяется в пределах от -100% до 100%, как обычный коэффициент корреляции в статистике. При этом ошибки 1-го и 2-го рода (ошибки ложной идентификации и ложной неидентификации) приводят к уменьшению параметра сходства. Очевидно, что параметр сходства должен удовлетворять критерию простой проверки

$$S_i(N_i = 1) = 100 \%$$

Было показано, что процедура распознавания по параметру сходства (6), реализованная в системе искусственного интеллекта «Эйдос-астра» /7/, является устойчивой как относительно объема выборки, так и относительно числа ячеек модели. Математическое обоснование этой процедуры дано в монографии /12/.

### **Технология моделирования движения полюса Земли**

Исследуемая база данных категорий движения полюса Земли была сформирована на основе данных IERS /4/, в период с 1 января 1963 года по 31 декабря 2010 г. При создании моделей в настоящей работе были использованы данные по координатам географического полюса –  $X$ ,  $Y$  /4/, данные по индукции магнитного поля Земли /5/, а также данные по сейсмическим событиям /6/.

Из исходной базы было образовано несколько различных БД для исследования влияния астрономических параметров на координаты и скорость движения полюса. Для сравнения с данными моделирования /1-3, 8, 11/ была образована база, охватывающая 16032 дня наблюдений с 9 февраля 1963 г по 31 декабря 2006 г.

В качестве астрономических параметров были использованы долгота, широта и расстояние от Земли до десяти небесных тел – Солнца, Луны, Марса, Меркурия, Венеры, Юпитера, Сатурна, Урана, Нептуна и Плутона,

и долгота Северного Узла Луны. 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. Из астрономических параметров и категорий движения полюса Земли была создана база данных, содержащая 16032 записи с обобщенной информацией о динамике вращения нашей планеты.

В работах /1-3/ была построена модель линейной регрессии с использованием 27 комбинаций астрономических параметров, характеризующих влияние каждого небесного тела:

$$\begin{aligned}
 P_{i1} &= \frac{\sin LAT_i}{R_i} - \frac{\cos J_e}{R_i} \\
 P_{i2} &= k_i \frac{\cos LAT_i \sin LON_i}{R_i} - \frac{\sin J_e}{R_i} \\
 P_{i3} &= k_i \frac{\cos LAT_i \cos LON_i}{R_i}
 \end{aligned} \tag{7}$$

$$k_i = \sin J_e \cos LAT_i \sin LON_i + \cos J_e \sin LAT_i, \quad i = 1, 2, \dots, 10$$

Здесь долгота (LON), широта (LAT) и расстояние (R) определяется для каждого из 10 небесных тел,  $J_e = 23,439291^0$  - угол наклона земной оси относительно нормали к орбитальной плоскости. Структура комплексов (7) вытекает из аналогии электромагнитных и гравитоэлектромагнитных (GEM) явлений /3/. Отметим, что данные для расстояний от Земли до небесных тел вычисляются в формулах (7) в астрономических единицах. Параметры (7) были использованы в настоящей работе наряду с астрономическими параметрами.

Решение прямой задачи включает в себя нормирование входных параметров и приведение их к одному масштабу изменения в интервале (0;360), разбиение интервалов на M частей, вычисление матрицы абсолютных частот и информативности, в соответствии с формулами (1-2). Отме-

тим, что в системе «Эйдос-астра» реализован режим автоматического синтеза нескольких семантических информационных моделей, в которых число ячеек принимает любое заданное значение  $M=2,3,\dots,173$ .

Решение обратной задачи включает в себя распознавание категорий по заданным астрономическим параметрам, в соответствии с уравнениями (3-6). Частным случаем задачи распознавания является определение достоверности идентификации категорий по астрономическим данным в каждой модели.

### Параметр сходства категорий координат полюса

В таблице 1 и на рис. 1 приведены данные параметра сходства 62 категорий  $X$  смещения полюса вдоль меридиана Гринвич и 60 категорий  $Y$  смещения полюса вдоль меридиана  $90^{\circ}W$  в двух моделях – M12, M160. Отметим, что параметр сходства в модели M160 является положительным для всех категорий. Наилучшим образом распознаются редко встречающиеся категории, которые соответствуют максимальным и минимальным значениям координат полюса Земли. Наихудшим же образом распознаются значения в окрестности нуля, но не само нулевое значение.

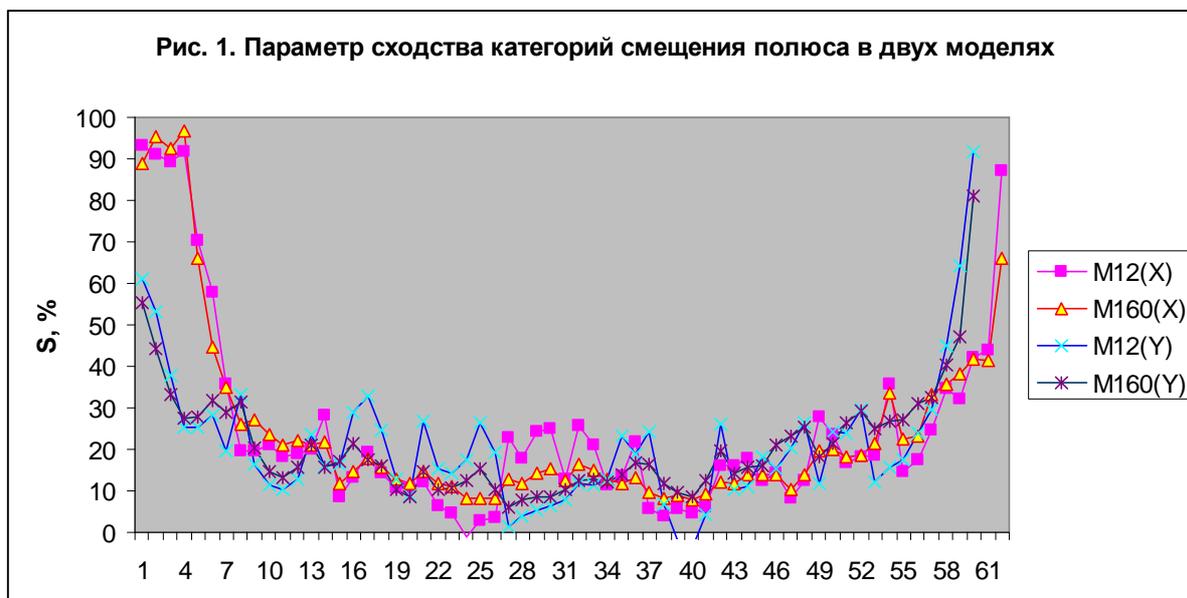


Таблица 1. Параметр сходства категорий смещения полюса в двух семантических моделях M12, M160

Категория X смещения полюса вдоль меридиана Гринвич	ABS	M12	M160	Категория Y смещения полюса вдоль меридиана 90°W	ABS	M12	M160
A1-X=-0,29609	11	93,107	88,988	B1-Y=-0,01292	30	61,036	55,179
A2-X=-0,28609	8	91,055	95,316	B2-Y=-0,00292	55	53,183	44,306
A3-X=-0,27609	8	89,336	92,669	B3-Y=0,00708	114	37,995	33,260
A4-X=-0,26609	7	91,621	96,861	B4-Y=0,01708	139	25,248	27,607
A5-X=-0,25609	17	70,335	65,907	B5-Y=0,02708	116	25,213	27,947
A6-X=-0,24609	70	57,702	44,554	B6-Y=0,03708	95	28,379	31,812
A7-X=-0,23609	99	35,539	35,023	B7-Y=0,04708	104	19,764	28,860
A8-X=-0,22609	140	19,810	25,902	B8-Y=0,05708	123	33,302	31,396
A9-X=-0,21609	125	19,597	27,046	B9-Y=0,06708	217	16,505	20,378
A10-X=-0,20609	194	21,118	23,567	B10-Y=0,07708	248	11,289	14,486
A11-X=-0,19609	199	18,063	21,047	B11-Y=0,08708	253	10,220	13,106
A12-X=-0,18609	188	18,909	21,982	B12-Y=0,09708	207	12,915	15,611
A13-X=-0,17609	173	19,857	21,195	B13-Y=0,10708	247	23,425	20,932
A14-X=-0,16609	238	28,145	21,646	B14-Y=0,11708	274	16,227	15,888
A15-X=-0,15609	378	8,537	11,882	B15-Y=0,12708	256	16,528	17,000
A16-X=-0,14609	269	13,379	14,533	B16-Y=0,13708	314	28,854	21,424
A17-X=-0,13609	272	19,133	17,768	B17-Y=0,14708	317	32,831	17,615
A18-X=-0,12609	269	14,176	15,673	B18-Y=0,15708	346	24,592	16,005
A19-X=-0,11609	340	10,618	12,692	B19-Y=0,16708	375	12,902	10,448
A20-X=-0,10609	354	10,659	11,908	B20-Y=0,17708	451	8,930	8,559
A21-X=-0,09609	271	12,111	14,500	B21-Y=0,18708	427	26,717	14,763
A22-X=-0,08609	299	6,271	11,823	B22-Y=0,19708	432	15,429	10,270
A23-X=-0,07609	302	4,794	11,088	B23-Y=0,20708	422	14,422	10,601
A24-X=-0,06609	342	-0,911	8,386	B24-Y=0,21708	341	17,412	12,475
A25-X=-0,05609	385	2,857	8,350	B25-Y=0,22708	372	26,525	15,371
A26-X=-0,04609	379	3,558	8,250	B26-Y=0,23708	478	19,320	10,211
A27-X=-0,03609	515	22,894	12,881	B27-Y=0,24708	417	1,393	6,239
A28-X=-0,02609	406	17,953	11,932	B28-Y=0,25708	374	3,806	7,833
A29-X=-0,01609	460	24,370	14,177	B29-Y=0,26708	340	5,304	8,526
A30-X=-0,00609	421	25,153	15,487	B30-Y=0,27708	332	6,288	8,569
A31-X=0,00391	441	12,979	12,421	B31-Y=0,28708	333	7,823	10,256
A32-X=0,01391	336	25,834	16,397	B32-Y=0,29708	338	11,746	12,531
A33-X=0,02391	347	21,116	14,917	B33-Y=0,30708	356	11,338	12,865
A34-X=0,03391	347	11,430	12,814	B34-Y=0,31708	400	12,730	12,000
A35-X=0,04391	369	13,517	11,956	B35-Y=0,32708	427	23,162	14,102
A36-X=0,05391	419	21,901	13,179	B36-Y=0,33708	369	18,989	16,950
A37-X=0,06391	469	5,804	9,755	B37-Y=0,34708	370	24,196	16,550
A38-X=0,07391	382	4,051	8,123	B38-Y=0,35708	341	6,711	11,836
A39-X=0,08391	414	5,878	8,821	B39-Y=0,36708	379	-1,910	9,542
A40-X=0,09391	402	4,779	7,705	B40-Y=0,37708	450	-3,692	8,444
A41-X=0,10391	410	6,197	9,395	B41-Y=0,38708	372	4,202	12,603
A42-X=0,11391	350	15,945	12,187	B42-Y=0,39708	351	26,035	19,635
A43-X=0,12391	371	15,923	11,843	B43-Y=0,40708	289	10,195	14,458
A44-X=0,13391	416	17,905	13,800	B44-Y=0,41708	301	10,906	15,810
A45-X=0,14391	267	12,607	13,914	B45-Y=0,42708	335	18,085	16,250
A46-X=0,15391	280	14,193	13,761	B46-Y=0,43708	207	15,311	21,195
A47-X=0,16391	284	8,112	10,425	B47-Y=0,44708	214	20,315	23,139

A48-X=0,17391	258	12,484	13,870	B48-Y=0,45708	241	26,258	25,316
A49-X=0,18391	257	28,020	19,737	B49-Y=0,46708	229	11,786	18,155
A50-X=0,19391	250	23,533	19,989	B50-Y=0,47708	282	24,120	21,504
A51-X=0,20391	300	16,840	18,145	B51-Y=0,48708	181	23,767	26,280
A52-X=0,21391	256	18,280	18,455	B52-Y=0,49708	131	29,472	29,443
A53-X=0,22391	294	18,553	21,527	B53-Y=0,50708	125	12,019	24,905
A54-X=0,23391	181	35,659	33,488	B54-Y=0,51708	115	15,706	26,731
A55-X=0,24391	170	14,493	22,535	B55-Y=0,52708	122	17,515	27,229
A56-X=0,25391	190	17,541	23,124	B56-Y=0,53708	132	23,829	31,025
A57-X=0,26391	79	24,478	33,086	B57-Y=0,54708	147	29,622	32,487
A58-X=0,27391	92	34,609	35,690	B58-Y=0,55708	103	45,056	40,347
A59-X=0,28391	78	32,166	38,276	B59-Y=0,56708	68	64,349	47,098
A60-X=0,29391	56	42,094	41,916	B60-Y=0,57708	14	91,879	81,030
A61-X=0,30391	72	43,858	41,414				
A62-X=0,31391	23	87,191	66,197				

Путем визуализации матрицы информативностей (2), можно установить некоторые особенности влияния небесных тел на движение полюса. На рис. 2 представлена зависимость категорий координат полюса от долготы Солнца. Как следует из данных, приведенных на рис. 2, координаты полюса в зависимости от долготы Солнца образуют жгуты, которые формируются из отдельных годовых движений на протяжении многих лет.

### **Параметр сходства категорий скорости движения полюса**

В таблице 2 и на рис. 2 приведены данные параметра сходства 62 категорий  $X_1$  угловой скорости движения полюса вдоль меридиана Гринвич и 60 категорий  $Y_1$  угловой скорости движения полюса вдоль меридиана  $90^{\circ}W$  в двух моделях – M12, M160. Параметр сходства категорий угловой скорости движения полюса в среднем несколько выше, чем аналогичный параметр категорий координат. Особенно это заметно в модели M12. В этой связи отметим, что модель регрессии для угловой скорости в зависимости от комплексов (7) является более точной, нежели для координат – см. /1-3/.

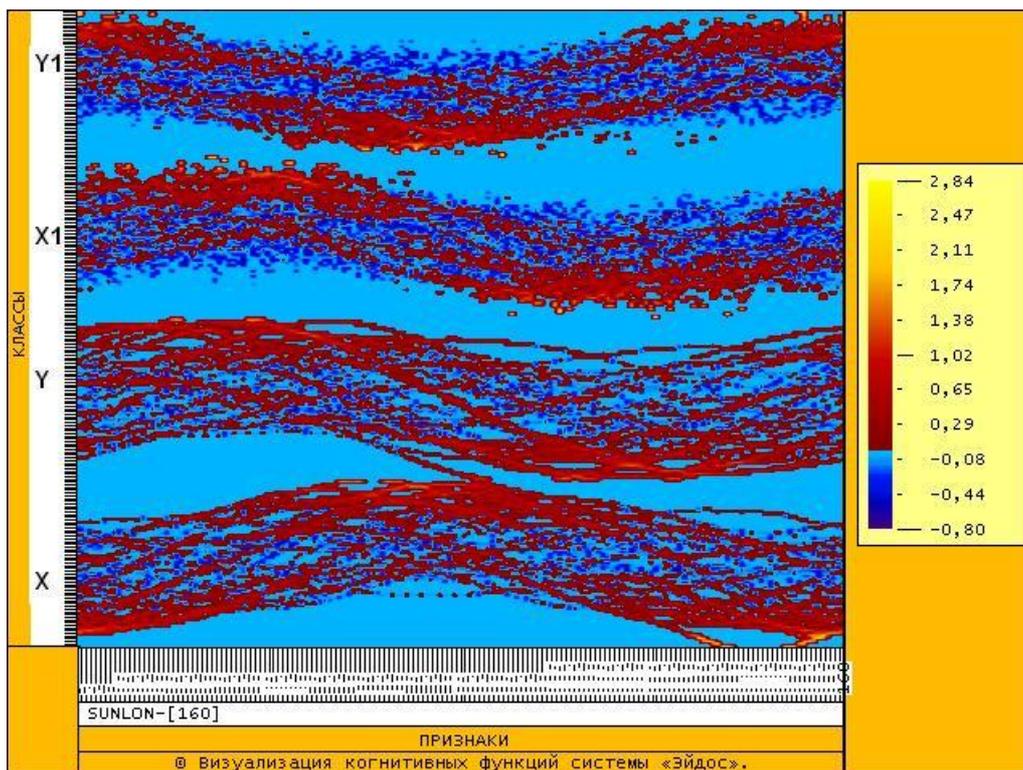


Рис. 2. Зависимость категорий координат и угловой скорости полюса от долготы Солнца в модели M160



Это связано, видимо, с тем, что гравитомагнитное поле, ответственное за обмен механическим моментом в Солнечной системе, также имеет размерность угловой скорости. Поэтому отклик системы на внешнее гравитомагнитное поле непосредственно сказывается на угловой скорости,

т.е. Земля откликается на гравитомагнитное поле подобно тому, как ведет себя, например, парамагнетик во внешнем магнитном поле.

Таблица. 2. Параметр сходства категорий угловой скорости движения полюса в двух семантических моделях M12, M160

Категория X1 угловой скорости движения полюса вдоль меридиана Гринвич	ABS	M12	M160	Категория Y1 угловой скорости движения полюса вдоль меридиана 90°W	ABS	M12	M160
A1-X1=-0,006	1	99,725	99,675	B2-Y1=-0,00554	1	99,680	99,969
A2-X1=-0,0058	2	70,590	71,316	B4-Y1=-0,00514	6	45,287	42,220
A3-X1=-0,0056	1	99,859	99,934	B5-Y1=-0,00494	4	72,499	56,604
A4-X1=-0,0054	5	53,839	45,123	B6-Y1=-0,00474	20	40,100	30,589
A5-X1=-0,0052	7	57,302	42,458	B7-Y1=-0,00454	42	32,357	24,554
A6-X1=-0,005	11	54,621	35,796	B8-Y1=-0,00434	46	22,713	19,021
A7-X1=-0,0048	23	37,634	24,757	B9-Y1=-0,00414	93	24,723	17,790
A8-X1=-0,0046	32	30,911	21,562	B10-Y1=-0,00394	130	22,768	18,098
A9-X1=-0,0044	47	24,977	17,773	B11-Y1=-0,00374	137	20,453	16,030
A10-X1=-0,0042	67	22,690	16,653	B12-Y1=-0,00354	169	20,565	14,077
A11-X1=-0,004	136	26,969	18,290	B13-Y1=-0,00334	204	20,357	14,163
A12-X1=-0,0038	150	31,164	18,825	B14-Y1=-0,00314	258	20,864	12,509
A13-X1=-0,0036	202	15,518	11,747	B15-Y1=-0,00294	345	21,111	12,375
A14-X1=-0,0034	265	24,420	11,938	B16-Y1=-0,00274	315	13,998	8,848
A15-X1=-0,0032	309	19,899	10,474	B17-Y1=-0,00254	390	17,637	8,590
A16-X1=-0,003	354	22,633	11,884	B18-Y1=-0,00234	434	13,957	6,512
A17-X1=-0,0028	356	15,218	7,964	B19-Y1=-0,00214	433	14,048	6,865
A18-X1=-0,0026	383	18,923	8,511	B20-Y1=-0,00194	446	10,650	5,886
A19-X1=-0,0024	335	14,455	7,676	B21-Y1=-0,00174	440	12,032	6,055
A20-X1=-0,0022	434	12,164	5,481	B22-Y1=-0,00154	449	16,426	6,890
A21-X1=-0,002	445	12,807	6,249	B23-Y1=-0,00134	473	6,882	5,484
A22-X1=-0,0018	412	4,158	5,159	B24-Y1=-0,00114	500	8,409	6,347
A23-X1=-0,0016	398	2,533	4,913	B25-Y1=-0,00094	586	9,229	5,616
A24-X1=-0,0014	422	8,313	6,455	B26-Y1=-0,00074	542	5,963	4,506
A25-X1=-0,0012	449	14,589	6,295	B27-Y1=-0,00054	581	12,833	5,776
A26-X1=-0,001	403	-0,734	4,042	B28-Y1=-0,00034	515	14,283	6,859
A27-X1=-0,0008	510	-2,492	2,903	B29-Y1=-0,00014	587	19,942	6,792
A28-X1=-0,0006	595	17,817	8,823	B30-Y1=0,00006	521	10,034	5,417
A29-X1=-0,0004	515	3,814	5,450	B31-Y1=0,00026	614	9,894	6,085
A30-X1=-0,0002	574	19,726	7,302	B32-Y1=0,00046	612	10,022	6,436
A31-X1=0	656	12,227	5,598	B33-Y1=0,00066	575	8,582	6,329
A32-X1=0,0002	554	15,275	6,135	B34-Y1=0,00086	468	-0,114	5,879
A33-X1=0,0004	575	14,428	5,177	B35-Y1=0,00106	427	5,314	6,043
A34-X1=0,0006	546	10,138	5,655	B36-Y1=0,00126	403	12,713	7,883
A35-X1=0,0008	458	16,298	7,303	B37-Y1=0,00146	503	16,086	8,266
A36-X1=0,001	473	10,571	5,879	B38-Y1=0,00166	554	12,632	6,357
A37-X1=0,0012	503	5,448	5,546	B39-Y1=0,00186	456	13,519	7,070
A38-X1=0,0014	469	16,092	8,329	B40-Y1=0,00206	438	12,850	7,777
A39-X1=0,0016	485	24,756	8,437	B41-Y1=0,00226	427	16,062	8,730
A40-X1=0,0018	428	22,297	8,701	B42-Y1=0,00246	328	11,936	8,402
A41-X1=0,002	338	11,861	8,893	B43-Y1=0,00266	271	14,477	9,277

A42-X1=0,0022	343	12,497	9,012	B44-Y1=0,00286	306	20,212	11,669
A43-X1=0,0024	344	17,778	11,092	B45-Y1=0,00306	246	20,904	11,661
A44-X1=0,0026	353	10,304	7,121	B46-Y1=0,00326	197	21,319	14,674
A45-X1=0,0028	257	16,147	10,179	B47-Y1=0,00346	170	24,327	16,691
A46-X1=0,003	329	19,453	11,078	B48-Y1=0,00366	132	22,188	15,592
A47-X1=0,0032	239	29,729	16,390	B49-Y1=0,00386	99	22,965	17,315
A48-X1=0,0034	192	18,143	12,274	B50-Y1=0,00406	60	26,150	18,723
A49-X1=0,0036	175	28,827	16,365	B51-Y1=0,00426	37	30,890	22,624
A50-X1=0,0038	132	16,837	13,455	B52-Y1=0,00446	15	34,345	28,762
A51-X1=0,004	106	23,704	16,669	B53-Y1=0,00466	5	64,495	49,100
A52-X1=0,0042	83	24,797	17,781	B54-Y1=0,00486	8	52,283	39,026
A53-X1=0,0044	65	31,835	20,242	B55-Y1=0,00506	3	66,328	60,267
A54-X1=0,0046	41	30,067	22,400	B56-Y1=0,00526	4	57,425	52,381
A55-X1=0,0048	15	44,628	30,233	B59-Y1=0,00586	2	75,633	71,968
A56-X1=0,005	11	44,362	34,462	B62-Y1=0,00646	1	100,000	100,000
A57-X1=0,0052	9	45,857	35,776	B64-Y1=0,00686	1	99,899	99,973
A58-X1=0,0054	5	65,268	51,362	B65-Y1=0,00706	1	99,882	99,969
A59-X1=0,0056	1	99,527	99,883				
A60-X1=0,0058	2	99,453	87,213				

На рис. 2 представлена зависимость категорий угловой скорости полюса Земли в зависимости от долготы Солнца в модели M160, полученная путем визуализации матрицы информативностей. Отметим, что категории угловой скорости не образуют достаточно четких нитевидных структур, подобных тем, что образуют категории координат.

Такое поведение угловой скорости полюса в зависимости от долготы Солнца обусловлено наличием случайной составляющей, связанной с движением атмосферы и океана относительно земной коры /13-21/. Случайная составляющая угловой скорости меняется ежесуточно, поэтому угловое ускорение полюса, вычисленное по данным /4/, также содержит случайную составляющую. Увеличение же точности измерения координат полюса на три порядка в 1963-2006 гг привело к росту на порядок величины амплитуды случайной составляющей в угловом ускорении. Случайная компонента углового ускорения полюса Земли превосходит регулярную составляющую, что делает прогноз движения полюса крайне сложной задачей, которая не нашла еще окончательного решения /22/.

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 /22/. В таком случае с равным успехом можно моделировать неизвестные силы, как обусловленные только влиянием небесных тел, что было показано в цитированных работах /1-3/, в которых были развиты модели регрессии для оценки момента сил, вызванного гравитомагнитным влиянием небесных тел.

### Модель движения полюса Земли

Используя матрицу информативностей, можно оценить зависимости угловой скорости движения полюса от координат – рис. 4-5. Из приведенных на этих рисунках данных следует, что движение полюса Земли можно описать системой уравнений /1/:

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

Как известно, на протяжении 100 лет наблюдается дрейф полюса /13, 19/. Для учета этого явления в правой части уравнений (8) введены константы скорости. Параметры модели (8) меняются в зависимости от исследуемого периода – см. таблицу 3. Период собственных колебаний системы (8) определяется в виде

$$T = 2\pi / \sqrt{-a_1 a_2}$$

Согласно полученным данным, период собственных колебаний системы изменяется незначительно, в пределах 12 дней, тогда как скорость дрейфа меняет знак, что указывает на неопределенность этого понятия во внешнем гравитомагнитном поле.

Таблица 3. Параметры модели (8) в различные годы

Годы	1990-2006	1963-2006	1963-1980	1980-1996
N	6210	16031	6209	6054
a1	0,0144	0,0148	0,0145	0,0145
a2	-0,0144	-0,0145	-0,014	-0,0143
b1	0,0957	0,0122	-0,0238	0,0588
b2	0,0455	-0,0208	-0,0755	0,0162
Период колебаний, солнечных суток	436,332313	428,9088521	440,9931559	436,3428345

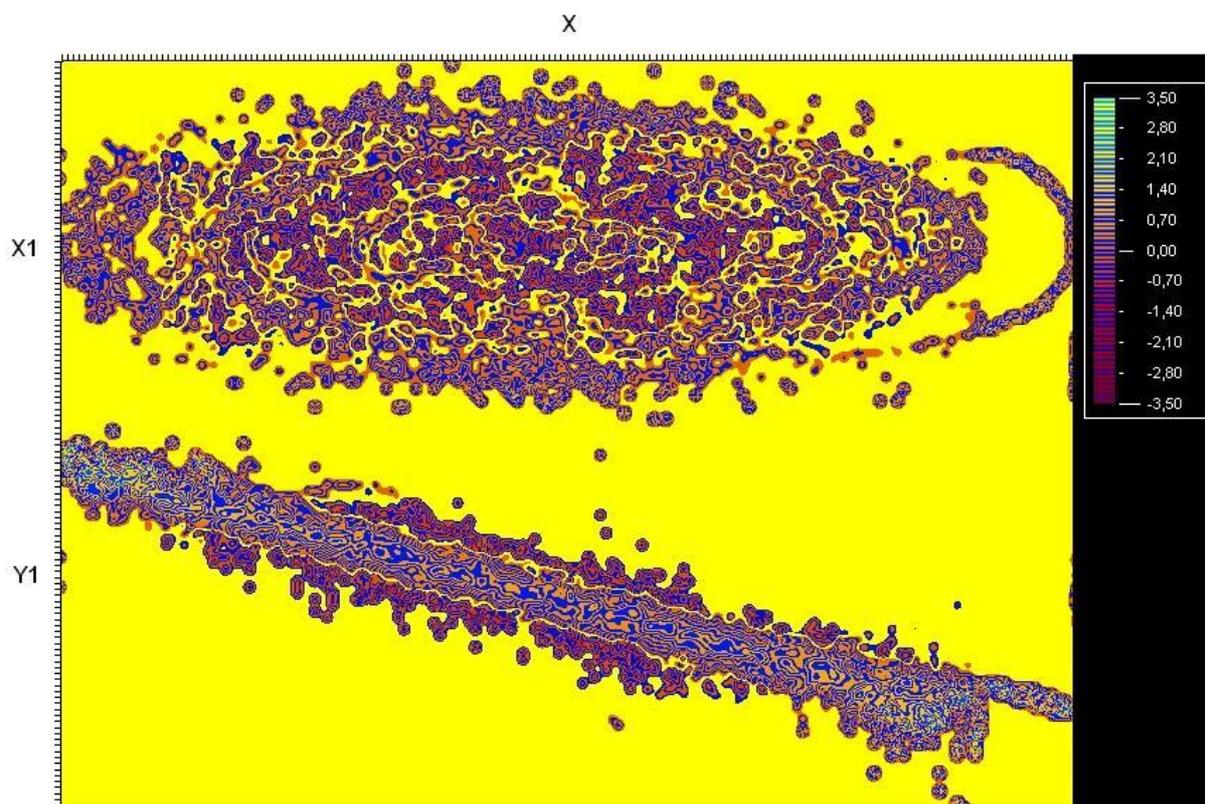


Рис. 4. Зависимость угловой скорости движения полюса от координаты X (смещение вдоль меридиана Гринвич) в модели M170

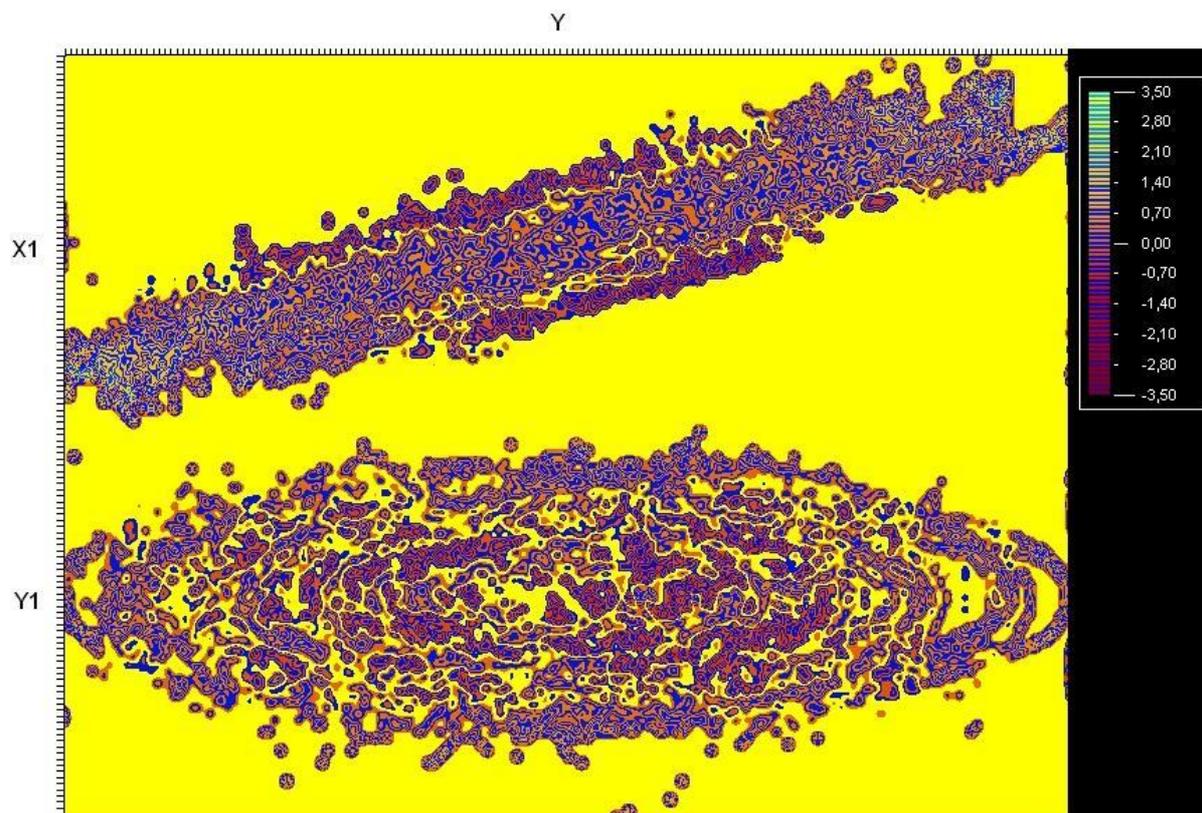


Рис. 5. Зависимость угловой скорости движения полюса от координаты Y (смещение вдоль меридиана 90<sup>0</sup>W) в модели M170

Стандартная модель движения полюса Земли может быть выведена из уравнений Эйлера с переменным тензором инерции [13, 22]. В качестве основы используется уравнение изменения механического момента во вращающейся системе координат

$$\frac{d\mathbf{L}}{dt} + [\mathbf{\Omega} \times \mathbf{L}] = \mathbf{K} \tag{9}$$

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

$$L_i = I_{ik} \Omega_k + dL_i \tag{10}$$

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

$$dL = \int r[r \times v]dV \quad (11)$$

Проецируя уравнения (9) на главные оси инерции, находим систему уравнений в форме Эйлера:

$$\begin{aligned} A\dot{\Omega}_1 + (C - B)\Omega_2\Omega_3 &= \tilde{K}_1 \\ B\dot{\Omega}_2 + (A - C)\Omega_1\Omega_3 &= \tilde{K}_2 \\ C\dot{\Omega}_3 + (B - A)\Omega_1\Omega_2 &= \tilde{K}_3 \end{aligned} \quad (12)$$

Здесь  $\tilde{K}_i$  – эффективный угловой момент сил с учетом вариаций углового момента и тензора инерции. Полагая в первом и втором уравнениях системы (12)  $\Omega_3 = w_e = \text{const}$ , получим линейную подсистему, собственная частота которой определяется в виде

$$w_E = w_e \sqrt{(C - A)(C - B) / AB} \quad (13)$$

Используя данные /22/, находим, что период колебаний, соответствующий частоте (13), составляет 304,57 сидерических суток. В этом случае система (12) 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 (12) отличается от частоты нутации Эйлера. В этом случае в модель (12) необходимо добавить вязкие слагаемые. Период колебаний, вычисленный по моделям /1-3/ приведен в таблице 4.

Таблица 4. Период собственных колебаний (средних солнечных суток) и параметр вязкости (1/средние солнечные сутки) на различных интервалах времени по данным /1-3/

Интервал	1963-1980	1963-1980	1963-2006	1963-2006	1990-2006	1990-2006
Координата	X	Y	X	Y	X	Y
Период 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

Сравнивая данные, приведенные в таблицах 3-4, находим, что периоды собственных колебаний систем (8) и (12) совпадают 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.

Как известно, колебания полюса Земли связаны с синоптическими процессами в атмосфере /13-22/, 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, во многом, благодаря развитию модели /22/, которая содержит более 80000 параметров (сводные таблицы 5.2а, 5.2б, 5.2с, 5.3а, 5.3б, 5.4 из раздела 5 с сайта [ftp.maia.usno.navy.mil](http://ftp.maia.usno.navy.mil)), отражающих, в том числе, приливное воздействие небесных тел с учетом взаимного относительного движения атмосферы, океана и коры.

### **Семантические информационные модели движения полюса**

Для исследования влияния астрономических параметров небесных тел на движение полюса Земли было сформировано несколько семантических информационных моделей – M12, M80, M120, M142, M143, M144, M160, M170, в которых использовались комбинации параметров в виде (7), а также сами астрономические параметры. Всего было исследовано 18 семантических информационных моделей.

Было установлено, что параметр сходства слабо зависит от числа разбиения N (номер модели), а также от используемых комбинаций астрономических параметров. На рис. 6 представлен параметр сходства 236 категорий, объединяющих координаты и угловую скорость движения полюса, в двух моделях – M80 и M160, в которых в качестве входных параметров использовалась долгота и расстояние до небесных тел.

На рис. 7 представлен параметр сходства категорий угловой скорости в пяти моделях, в которых в качестве входных использовались параметры (7) в сочетании с широтой (LAT) и координатами полюса (эти модели использовались для получения данных на рис. 4-5).

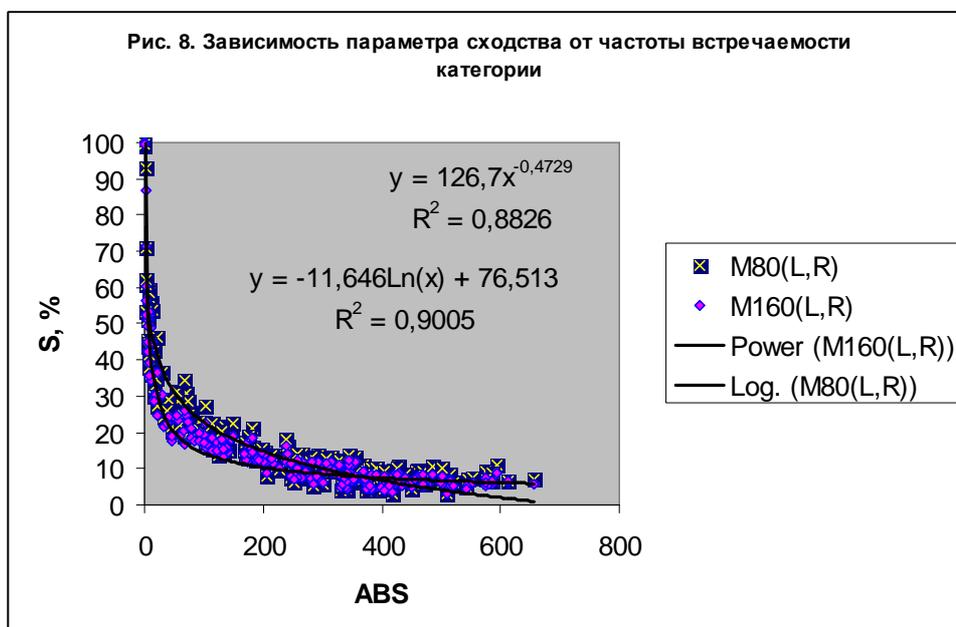




Как следует из данных, приведенных на рис. 6-7, параметр сходства слабо зависит как от числа разбиения, так и от сочетаний параметров небесных тел при неизменном их числе (в текущей версии «Эйдос-астра» используется 23 входных параметра, из которых образуются  $23N$  признаков). На рис. 8 представлена обобщенная зависимость параметра сходства от частоты встречаемости категорий координат и угловой скорости движения полюса в моделях M80 и M160, зависящих от долготы и расстояний до небесных тел. Параметр сходства монотонно убывает с ростом абсолютного числа случаев встречаемости категорий. Это означает, видимо, что увеличение длины рядов событий не ведет к повышению параметра сходства в данной задаче.

Другой целью исследования было обнаружение когерентных структур в распределении параметров, подобных тем, что приведены на рис. 2, 4-5. На рис. 9 представлены зависимости категорий угловой скорости движения полюса Земли от комплексов  $P_{il}$  для Солнца, Сатурна, Урана и Нептуна, с которыми угловая скорость имеет наибольший коэффициент корреляции. Отметим, что эти комплексы дают наибольший вклад в изменение углового момента нашей планеты – см. /1-3/. Из приведенных на

рис. 9 данных следует, что для указанных небесных тел исследуемые зависимости являются однотипными. Это свидетельствует о существовании общего механизма влияния небесных тел на движение полюса Земли, обусловленного гравитационным полем /1/.



Результаты, приведенный в работах /1-3, 7-11/ 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. Таким образом, гипотеза /21/ о всеобщей взаимосвязи процессов, протекающих на нашей планете и охватывающих различные сферы – магнитосферу, атмосферу, земную кору, ядро и т.п., находит свое подтверждение в перечисленных исследованиях /1-3, 7-11/ и других работах авторов. 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.

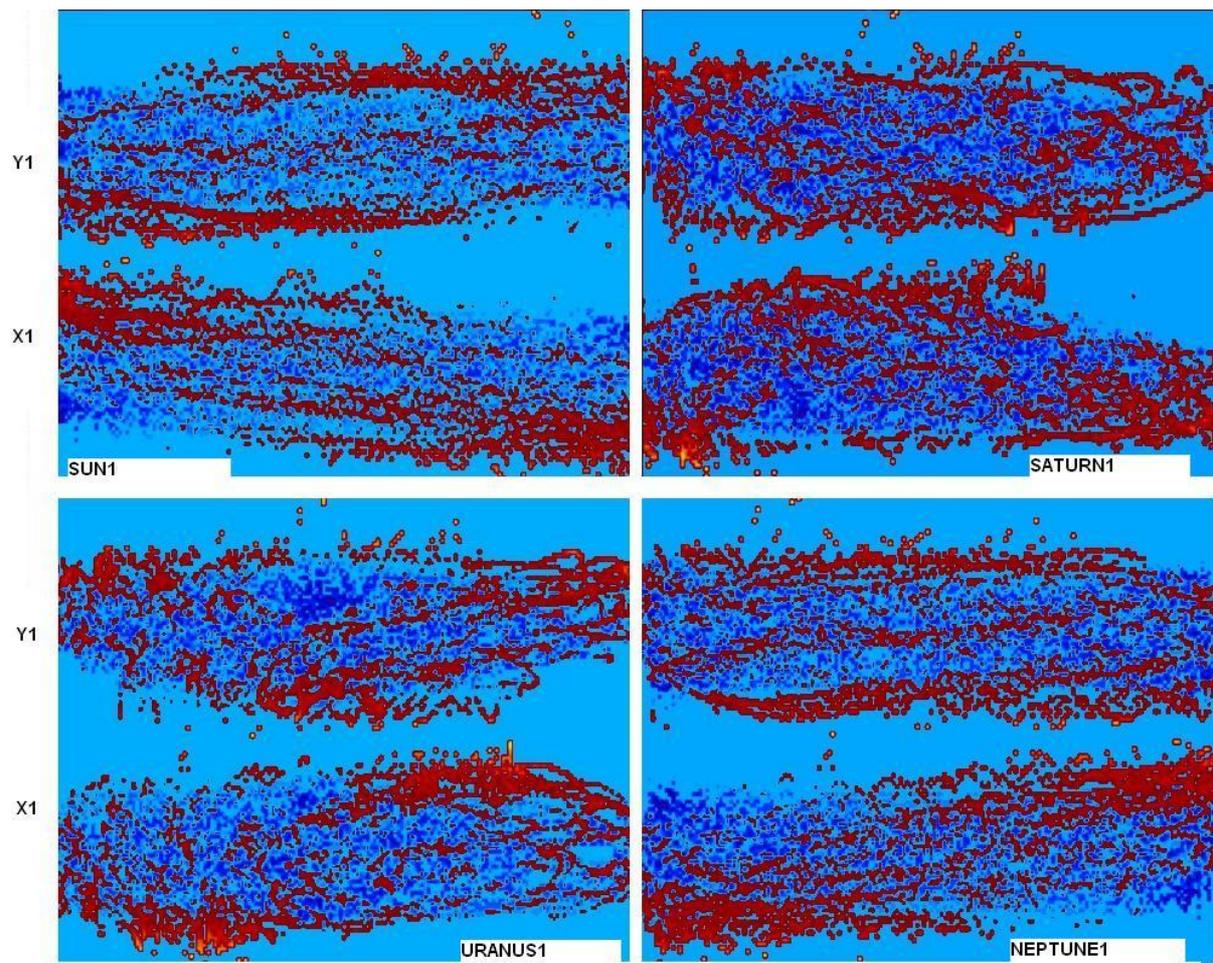


Рис. 9. Зависимость угловой скорости движения полюса Земли от комплексов астрономических параметров  $P_{i1}$  Солнца, Сатурна, Урана и Нептуна в модели M170

Ранее было установлено [1-3, 8], что существует взаимосвязь сейсмических событий, вариаций индукции магнитного поля и параметров движения полюса Земли, что обусловлено влиянием небесных тел. В таблицах 5-6 приведены коэффициенты корреляции параметров сейсмической активности, вычисленных по данным [6], а также вертикальной компоненты индукции магнитного поля на восьми станциях [5] с комплексами  $P_{ik}$ . Из данных, приведенных в таблицах 5-6 следует, что в случае Урана и Нептуна параметры сейсмических событий и индукция магнитного поля Земли

сильнее связаны с комплексами  $P_{i2}, P_{i3}$ , нежели с комплексом  $P_{i1}$ . Угловая же скорость движения полюса Земли, напротив, сильнее связана с комплексом  $P_{i1}$ .

Таблица 5. Коэффициенты корреляции средних параметров сейсмической активности по данным /6/ 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.

	SATU RN1	SATU RN2	SATU RN3	URAN US1	URAN US2	URAN US3	NEPTU NE1	NEPTU NE2	NEPTUN E3
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 6. Коэффициенты корреляции вертикальной компоненты индукции магнитного поля земли по данным /5/ с комплексами  $P_{ik}$  Сатурна, Урана и Нептуна на протяжении 6009 дней.

Station	SATU RN1	SATU RN2	SATU RN3	URAN US1	URAN US2	URAN US3	NEPTU NE1	NEPTU NE2	NEPTUN E3
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

<b>THL</b>	0,136	0,21	-0,408	0,117	0,413	0,584	0,309	0,4	0,542
<b>DRV</b>	-0,393	0,278	0,252	0,378	-0,932	-0,481	0,151	-0,927	-0,893

В случае Сатурна влияние всех трех комплексов  $P_{ik}$  на параметры сейсмических событий и магнитное поле является однотипным, как следует из данных, приведенных в таблицах 5-6. Возникает вопрос, подобно ли влияние Сатурна и вариаций магнитного поля Земли на сейсмические события? Для ответа на этот вопрос была сгенерирована семантическая информационная модель M170, в которой использовались астрономические параметры небесных тел, вертикальная компонента индукции магнитного поля Земли на 12 станциях по данным /5/ и категории однократных (А), двукратных (В) и трехкратных (С) сейсмических событий с магнитудой  $m_b \geq 4$ .

На рис. 10 представлены фрагменты матрицы информативностей указанной модели M170. Данные, приведенные на рис. 10, демонстрируют подобие влияния долготы Сатурна и вариаций магнитного поля Земли на частоту появления категорий сейсмических событий. Можно предположить, что гравитационное и электромагнитное влияние Сатурна возбуждает общий механизм, влияющий и на магнитное поле, и на сейсмические события, и на движение полюса Земли. В этой связи отметим, что существует заметная корреляция углового момента сил от Сатурна со средними параметрами сейсмических событий и с вариациями индукции магнитного поля /1/, тогда как аналогичный коэффициент корреляции углового момента сил от Урана и Нептуна с параметрами сейсмических событий и вариациями индукции магнитного поля на порядок меньше по абсолютной величине (см. таблицы 3-5 из работы /1/).

Таким образом, механизмы влияния Сатурна и Урана/Нептуна на сейсмических событий, вариаций индукции магнитного поля и параметры движения полюса Земли различаются. Это объясняется нарушением подо-

бия электромагнитного и гравитационного взаимодействия Земли с Ураном и Нептуном, что обусловлено релятивистскими эффектами /1/.

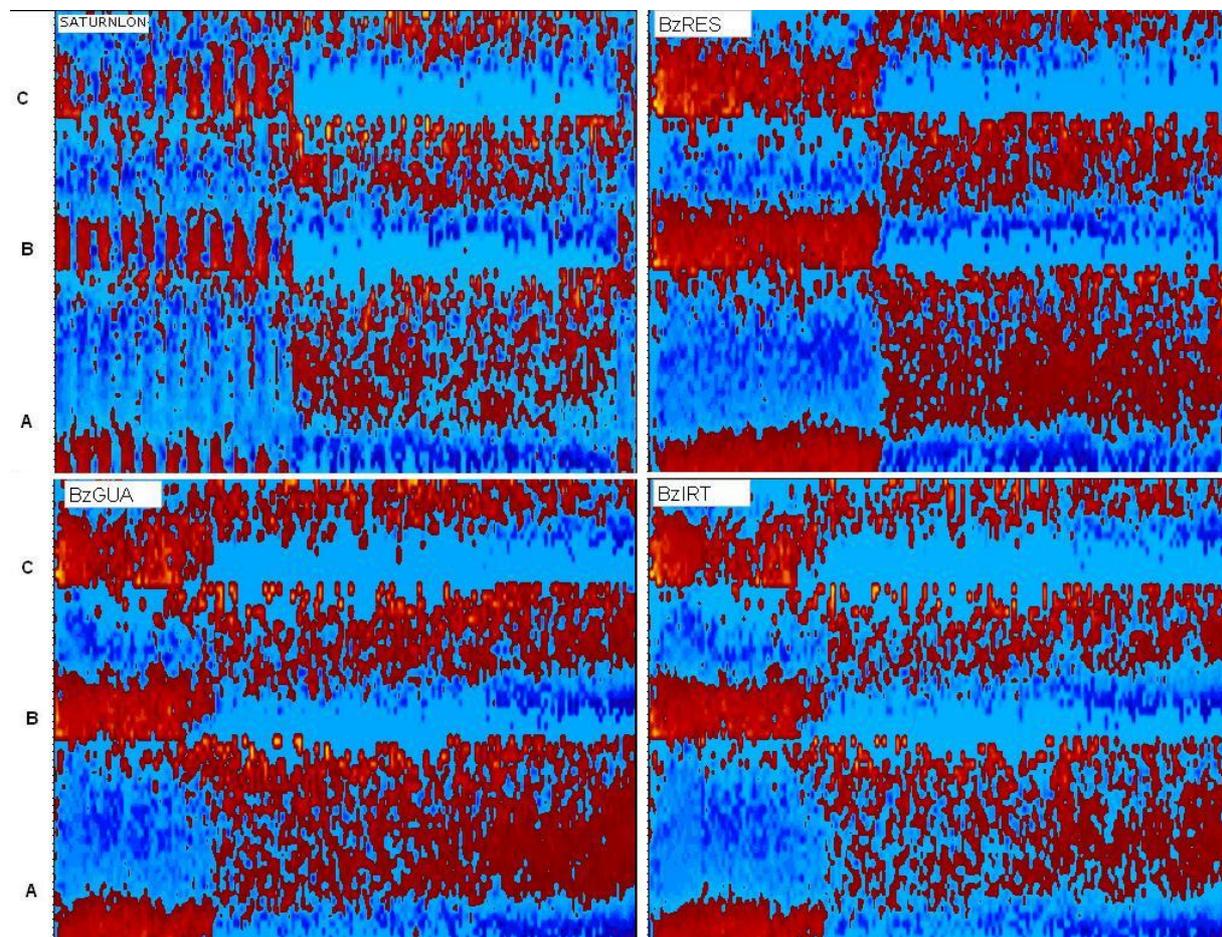


Рис. 10. Зависимость частоты категорий однократных (А), двукратных (В) и трехкратных (С) сейсмических событий с магнитудой  $m_b \geq 4$  от долготы Сатурна и вариаций вертикальной компоненты индукции магнитного поля Земли на трех станциях в 1963-2006 гг по данным /5/ в модели М170.

Наконец, заметим, что прогностические возможности исследованных в настоящей работе семантических информационных моделей движения полюса Земли невелики, поэтому они могут быть использованы в прогнозах только совместно с динамическими моделями типа (8) и (12). Тем не менее, полученные на основе семантических информационных моделей

результаты представляют самостоятельный интерес при решении проблемы взаимосвязи событий, явлений и процессов, обусловленных влиянием небесных тел на землетрясения, магнитное поле и движение полюса Земли.

Необходимо отметить, что развитый в автоматизированном системно-когнитивном анализе аппарат выявления и визуализации причинно-следственных зависимостей в форме когнитивных функций [12, 23, 24] позволяет очень наглядно буквально увидеть такие объективно существующие явления и закономерности, о самом существовании которых еще недавно в науке вообще не было известно и которые весьма проблематично обнаружить другими методами. Это позволяет обоснованно говорить о том, что автоматизированный системно-когнитивный анализ [12] и его программный инструментарий – система «Эйдос-астра» [7] и базовая система «Эйдос» представляют собой новый инструмент исследования в астрономии и геофизике, своего рода «математический телескоп», открывающий качественно новые, ранее недоступные возможности исследования. История науки наглядно демонстрирует, что появление новых инструментов исследования, обеспечивающих новые возможности исследования, ранее всегда приводило к возникновению новых направлений в науке. Так создание микроскопа позволило открыть целый мир микроорганизмов и привело к возникновению микробиологии, создание оптического телескопа позволило Галилео Галилею сразу же открыть спутники Юпитера и привело к созданию оптической астрономии, создание радиотелескопа привело к возникновению радиоастрономии, и.т.д. Авторы считают, что применение систем искусственного интеллекта для анализа баз данных, содержащих информацию об огромном количестве событий на Земле в различных глобальных системах, позволяет выявить в этих данных влияние небесных тел Солнечной системы на эти события и, *позволяет открыть существование новых, ранее неизвестных объективно существующих явлений и закономерностей*. По сути это означает, что применение технологий искусствен-

ного интеллекта для исследования влияния небесных тел Солнечной системы на глобальные геосистемы: ноосферу, биосферу, атмосферу, магнитосферу, геосферу и другие, представляет собой новое перспективное направление исследований в науке.

### 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](http://chaosandcorrelation.org/Chaos/CR10_2010.pdf)
3. Трунев А.П. Моделирование влияния небесных тел на движение полюса Земли / А.П. Трунев // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – №10(64). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2010/10/pdf/22.pdf>
4. Earth orientation centre / <http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/>
5. World Data Centre for Geomagnetism (Edinburgh)/ <http://www.wdc.bgs.ac.uk/catalog/master.html>
6. International Seismological Center/ <http://www.isc.ac.uk/>
7. Луценко Е.В. , Трунев А.П. «Эйдос-астра» – интеллектуальная система научных исследований влияния космической среды на поведение глобальных геосистем // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – №07(61). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2010/07/pdf/17.pdf>
8. 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>
9. 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>
10. 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>
11. 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>

12. Луценко Е.В. Автоматизированный системно-когнитивный анализ в управлении активными объектами (системная теория информации и ее применение в исследовании экономических, социально-психологических, технологических и организационно-технических систем). – Краснодар: КубГАУ, 2002, – 605 с.
13. 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.
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. Гидрометеиздат, СПб., 2002.
21. Сидоренков Н.С.. НЕСТАБИЛЬНОСТЬ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ//ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, том 74, № 8, с. 701-715 (2004)
22. IERS Conventions (2010). G´erard Petit<sup>1</sup> and Brian Luzum (eds.), IERS Technical Note No. 36, Frankfurt am Main, 2010.
23. Луценко Е.В. АСК-анализ как метод выявления когнитивных функциональных зависимостей в многомерных зашумленных фрагментированных данных / Е.В. Луценко // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2005. – №03(11). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2005/03/pdf/19.pdf>
24. 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>