



Chaos and Correlation
International Journal, January 30, 2011

**ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ
СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН НА СЕЙСМИЧЕСКУЮ
АКТИВНОСТЬ, ДВИЖЕНИЕ ПОЛЮСА И
МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ**

Трунев Александр Петрович

к. ф.-м. н., Ph.D.

Директор, *A&E Trounev IT Consulting, Торонто,
Канада*

Луценко Евгений Вениаминович

д. э. н., к. т. н., профессор

*Кубанский государственный аграрный
университет, Краснодар, Россия*

На основе информационной модели исследовано
влияние солнечных пятен на сейсмическую
активность и магнитное поле Земли.

Ключевые слова: ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ
ЭКСПЕРИМЕНТ, ИНФОРМАЦИОННАЯ
МОДЕЛЬ, СОЛНЕЧНЫЕ ПЯТНА,
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ, МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ

**SUNSPOTS IMPACT ON THE EARTH
SEISMIC ACTIVITY, POLAR MOTION AND
MAGNETIC FIELD (INFORMATION MODEL)**

Alexander Trunev

Ph.D.

*Director, A&E Trounev IT Consulting, Toronto,
Canada*

Lutsenko Evgeny Veniaminovich

Dr. Sci. Econ., Cand. Tech. Sci., professor

Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

Sunspots impact on the Earth seismic activity and
magnetic field based on the information model has
been investigated.

Keywords: COMPUTATIONAL EXPERIMENT,
INFORMATION MODEL, SUNSPORT, EARTH
MAGNETIC FIELD

Введение

Солнечные пятна, открытые китайскими астрономами еще до нашей эры, являются одним из показателей солнечной активности. Согласно существующим представлениям, солнечные пятна возникают в результате взаимодействия плазмы с магнитным полем /1/. Ежедневное число пятен меняется от 0 до >300, а их диаметр может превышать 80000 км. Температура пятен изменяется в пределах 3000-4500 К, что делает их заметными на фоне высокой температуры окружающей среды (около 5780К). Эти образования могут служить индикатором солнечной активности, так как связаны, с одной стороны, с вариациями потока солнечной радиации и вспышками на Солнце, а с другой – с изменением полярности солнечного магнитного диполя /1/. Оба фактора весьма значимы для земного магнетизма, поскольку могут вызвать магнитные бури и полярные сияния. Установлено, что солнечные пятна связаны с циклами солнечной активности, влияющими

на погоду, а также, на здоровье и поведение людей, социальные и экономические процессы, и технические системы /2-6/.

В силу важности этого влияния было разработано несколько критериев для описания, как самих солнечных пятен, так и магнитных бурь. В настоящее время эти критерии уже используются в средствах массовой информации с целью предсказания космической погоды, наряду с обычными прогнозами погоды /6-7/.

В настоящей работе на основе системы искусственного интеллекта «Эйдос-астра» /8/ с использованием данных /9-12/ построена информационная модель влияния солнечных пятен на сейсмические события с магнитудой $m_b \geq 4$, магнитное поле и движение полюса Земли. Установлено, что в период с 1963 по 2006 гг коэффициент линейной корреляции ежедневного числа пятен на Солнце с вариациями вертикальной компоненты магнитного поля изменяется в пределах от -0,186 до 0,302 со средним значением -0,004 для 23 станций наблюдения по данным /10/. Обсуждается модель опосредованного взаимодействия магнитных полей Солнца и Земли, в которой источником возмущений геомагнитного поля служит дипольное излучение небесных тел, индуцированное солнечными пятнами.

Задача о распознавании категорий событий в поле центральных сил

Рассмотрим задачу распознавания категорий по астрономическим данным /13-16/. Имеется множество событий E , которому ставится в соответствие множество категорий K_i . Событиями можно считать, например, землетрясения, происходящие на нашей планете ежедневно, а категориями – число одно- (А), двух- (В) или трехкратных событий (С), магнитуда которых лежит в заданном интервале. Каждое такое событие характеризуется моментом времени и географическими координатами места его происхождения. 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 K_i .

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

$$\begin{aligned} N_{ij}(x_j, k) &= N_i w(\tilde{x}_j, k) \Delta x, \quad x_j < \tilde{x}_j < x_j + \Delta x \\ 1 \leq i \leq n, \quad 1 \leq j \leq 2m, \quad k &= 1, \dots, k_0 \end{aligned} \quad (1)$$

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

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

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 /13-19/

$$\begin{aligned} I_{ijk} &= \log_2 \frac{N_{ij} / \sum_j N_{ij}}{\sum_i N_{ij} / \sum_{i,j} N_{ij}}, \quad N_{ij}(x_{jk}) \neq 0 \\ I_{ijk} &= 0, \quad N_{ij}(x_{jk}) = 0, \\ \delta I_{jk} &= \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i \left(I_{ijk} - \frac{1}{n} \sum_i I_{ijk} \right)^2} \\ 1 \leq i \leq n, \quad 1 \leq j \leq 2m, \quad 1 \leq k \leq k_0 \end{aligned} \quad (2)$$

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.

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

С другой стороны, процесс идентификации, распознавания и прогнозирования может рассматриваться как разложение вектора распознаваемого объекта в ряд по векторам категорий (классов распознавания) /13-19/. Этот вектор, состоящий из единиц и нулей, можно определить по координатам небесных тел, соответствующих дате и месту происхождения события l в виде

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

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 – значение 0. Перечисление координат осуществляется последовательно, для каждого небесного тела. 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.

Без ограничения общности можно заменить координату любого небесного тела иным исследуемым параметром, например, координатами и скоростью движения полюса Земли, компонентами вектора индукции магнитного поля /13, 17/, гравитационным потенциалом /15/ или числом пятен на Солнце, как в данной задаче.

В частности, в работах /17-18/ была построена модель линейной регрессии с использованием комбинаций астрономических параметров, http://chaosandcorrelation.org/Chaos/CR01_2011.pdf

характеризующих влияние каждого небесного тела. Структура приведенных ниже комплексов вытекает из аналогии электромагнитных и гравитоэлектромагнитных (GEM) явлений /18/:

$$\begin{aligned}
 P_{i1} &= \frac{\sin LAT_i}{R_i} - \frac{\cos \vartheta_e}{R_i} \\
 P_{i2} &= k_i \frac{\cos LAT_i \sin LON_i}{R_i} - \frac{\sin \vartheta_e}{R_i} \\
 P_{i3} &= k_i \frac{\cos LAT_i \cos LON_i}{R_i} \\
 k_i &= \sin \vartheta_e \cos LAT_i \sin LON_i + \cos \vartheta_e \sin LAT_i, \quad i = 1, 2, \dots, 10
 \end{aligned} \tag{5}$$

Здесь долгота (LON), широта (LAT) и расстояние (R) определяется для каждого из 10 небесных тел, $\vartheta_e = 23,439291^0$ - угол наклона земной оси относительно нормали к орбитальной плоскости. Отметим, что данные для расстояний от Земли до небесных тел вычисляются в формулах (5) в астрономических единицах. Параметры (5) были использованы в настоящей работе наряду с астрономическими параметрами.

При создании моделей в настоящей работе были использованы данные ежедневного числа солнечных пятен по наблюдениям американских астрономов /9/ – параметр RADAILY, данные по индукции магнитного поля Земли /10/, данные по сейсмическим событиям /11/, а также координаты географического полюса – X, Y /12/. Данные по индукции магнитного поля были взяты со следующих 23 станций (приведены только IAGA коды): GNA, GUA, IRT, KAK, MMB, RES, THL, DRV, HER, FUG, ABG, HON, CLF, LRV, SOD, AAE, AAA, TAN, SJG, AIA, TUC, BNG, MBO.

В случае, когда система векторов (3) является полной, можно любой вектор (4) точно 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 данных события с той

или иной категорией можно определить по величине скалярного произведения вектора (4) на вектор (3), т.е. в координатной форме:

$$K_{il} = \frac{1}{\|a_l\| \|c_i\|} \sum_{s=1}^{2mk_0} a_{ls}(A) c_{is} \quad (6)$$

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» /8/ осуществляется по параметру сходства, который определяется следующим образом /13-16/:

$$S_i = \frac{1}{N} \sum_{l=1}^N (BT_{il} + T_{il} - BF_{il} - F_{il}) \cdot 100\% \quad (7)$$

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_{il} – 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 (7), реализованная в системе искусственного интеллекта «Эйдос-астра» /8/, является устойчивой как относительно объема выборки, так и относительно

числа ячеек модели. Математическое обоснование этой процедуры дано в монографии /19/.

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

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.

Информационная модель влияния солнечных пятен на сейсмические события

Технология моделирования сейсмических событий на основе системы «Эйдос-астра» подробно описана в работах /13-15/ и других. Исследуемая база данных сейсмических событий была сформирована на основе базы данных Международного сейсмологического центра (ISC) /11/, содержащей 20489816 записей регистрации различными сейсмостанциями событий землетрясений, произошедших на нашей планете в период с 1 января 1961 года по 31 декабря 2006 г. Была исследована совокупность 128320 событий землетрясений с магнитудой $mb \geq 4$, произошедших на нашей планете в период с 9 февраля 1963 года по 31 декабря 2006 г (всего 16032 дня).

В исходной БД /11/ сейсмические события характеризуются магнитудой mb , которой можно сопоставить категорию магнитуды – таблица 1. Поскольку события с одной и той же магнитудой могут повторяться в один день, каждому значению магнитуды из заданного интервала сопоставляется несколько типов категорий, а именно:

А – событие с магнитудой mb повторяется один раз;

B – событие с магнитудой mb повторяется два раза;

C – событие с магнитудой mb повторяется три раза.

Для целей настоящего исследования было сформировано несколько информационных моделей, включая следующие:

- M160(L,R) – содержит только астрономические параметры долготы и расстояния;
- M160(RA,L,R) – содержит параметр RADAILY и астрономические параметры долготы и расстояния;
- M170(RA,L,P) – содержит параметр RADAILY, астрономические параметры долготы и 12 параметров (5), вычисленных для Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна;
- M170(B,L) – содержит астрономические параметры долготы и параметры индукции магнитного поля на 13 станциях;
- M120(B, P) – содержит параметры индукции магнитного поля на 13 станциях и 12 параметров (5), вычисленных для Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна;
- M170(RES,L,R) – содержит астрономические параметры долготы и расстояния и параметр индукции магнитного поля на станции RES;
- M160(X,Y,L,R) – содержит астрономические параметры долготы и расстояния, и координаты географического полюса;
- M160(X,Y,RES,L,R) – содержит астрономические параметры, координаты географического полюса и параметр индукции магнитного поля на станции RES.

В таблице 1 представлен параметр сходства категории магнитуда в четырех информационных моделях, а на рис. 1 – аналогичный параметр сходства в семи перечисленных выше моделях. Из данных, приведенных в таблице 1 и на рис. 1 следует, что добавление в информационную модель параметра RADAILY – ежедневного числа солнечных пятен по наблюдениям американских астрономов, приводит к понижению среднего и максимального параметра сходства. Напротив, добавление параметра индукции магнитного поля RES, связанного с ежедневной вариацией планетарного магнитного

поля приводит к росту как среднего, так и максимального параметр сходства. Следовательно, между параметрами RES и RADAILY нет однозначной связи в смысле их влияния на сейсмические события.

Таблица 1. Параметр сходства категории магнитуда в четырех моделях

Категория	Число случаев	M160(L,R)	M160(RA,L,R)	M170(RA,L,P)	M170(RES,L,R)
A40-Mb=4,0	1362	-18,593	-12,149	-14,462	-20,037
A41-Mb=4,1	1580	-8,208	-6,109	-3,077	-6,813
A42-Mb=4,2	1796	-1,797	-0,407	2,698	0,637
A43-Mb=4,3	2224	4,889	5,069	8,640	7,037
A44-Mb=4,4	2744	-4,445	-3,647	-1,136	-4,510
A45-Mb=4,5	3358	-0,364	0,486	3,546	1,890
A46-Mb=4,6	4119	8,102	7,114	2,359	8,161
A47-Mb=4,7	4768	11,303	7,139	1,431	10,887
A48-Mb=4,8	4954	13,381	8,852	2,838	12,764
A49-Mb=4,9	5008	17,503	10,799	6,597	15,614
A50-Mb=5	4904	26,141	19,409	11,462	22,451
A51-Mb=5,1	4582	29,802	20,595	14,006	26,773
A52-Mb=5,2	4134	25,101	18,918	13,014	23,767
A53-Mb=5,3	3563	30,307	22,368	17,016	29,035
A54-Mb=5,4	3010	28,031	20,712	13,964	24,969
A55-Mb=5,5	2367	24,238	17,492	10,680	22,462
A56-Mb=5,6	1940	32,491	23,640	21,515	31,337
A57-Mb=5,7	1460	31,689	23,066	22,448	31,225
A58-Mb=5,8	1179	28,16	22,760	20,935	28,725
A59-Mb=5,9	864	24,738	19,841	18,139	25,450
A60-Mb=6,0	656	23,495	20,666	17,798	25,074
A61-Mb=6,1	453	29,394	25,123	22,496	29,190
A62-Mb=6,2	319	23,934	20,695	21,355	25,934
A63-Mb=6,3	202	35,651	28,722	28,901	36,412
A64-Mb=6,4	137	42,81	37,909	39,716	45,038
A65-Mb=6,5	87	55,802	47,917	51,895	62,048
A66-Mb=6,6-7,0	68	63,169	53,843	56,396	68,781
B40-Mb=4,0	446	28,361	18,736	23,423	30,855
B41-Mb=4,1	660	18,857	12,704	14,817	21,036
B42-Mb=4,2	835	9,046	6,722	6,265	9,861
B43-Mb=4,3	955	-6,859	-2,669	-8,075	-8,597
B44-Mb=4,4	1099	-14,986	-8,869	-10,093	-13,509
B45-Mb=4,5	1223	-1,494	-0,076	2,080	0,992
B46-Mb=4,6	1455	-1,678	-1,113	1,722	-0,022
B47-Mb=4,7	1612	-1,317	0,130	1,591	-1,349
B48-Mb=4,8	1817	3,926	4,190	5,574	3,183
B49-Mb=4,9	1636	3,783	3,855	2,818	5,508
B50-Mb=5	1428	15,492	11,992	11,574	16,131
B51-Mb=5,1	1206	13,093	10,956	9,329	12,782
B52-Mb=5,2	936	22,413	19,267	16,803	22,561
B53-Mb=5,3	617	24,482	20,240	17,872	22,979
B54-Mb=5,4	422	21,194	18,464	15,913	18,494
B55-Mb=5,5	261	30,487	23,114	26,050	31,170
B56-Mb=5,6	180	33,408	28,321	30,616	37,841
B57-Mb=5,7	93	56,994	47,736	52,339	60,019

B58-Mb=5,8	73	61,514	52,517	55,427	68,742
B59-Mb=5,9-6,4	69	62,605	54,655	59,161	68,168
C40-Mb=4,0	130	53,018	42,336	51,118	60,331
C41-Mb=4,1	259	35,327	27,456	34,395	40,927
C42-Mb=4,2	362	22,208	14,780	20,365	24,192
C43-Mb=4,3	436	21,621	15,521	18,421	24,474
C44-Mb=4,4	482	19,875	14,973	11,957	19,482
C45-Mb=4,5	468	11,685	9,127	8,575	10,782
C46-Mb=4,6	515	2,741	3,117	-0,391	1,491
C47-Mb=4,7	501	5,517	5,687	5,406	6,989
C48-Mb=4,8	450	10,42	9,536	8,836	12,503
C49-Mb=4,9	447	15,73	13,178	14,786	17,397
C50-Mb=5	356	20,558	16,937	15,841	22,289
C51-Mb=5,1	293	22,202	18,100	17,483	22,638
C52-Mb=5,2	166	35,702	30,512	31,979	38,506
C53-Mb=5,3-6,0	105	48,043	37,886	44,190	52,017
Среднее значение	1374	20,995	17,063	16,874	22,052



Ранее было показано /13-16/, что матрица информативности (2) может быть использована для выявления и визуализации *когнитивных функциональных зависимостей* в фрагментированных и зашумленных данных большой размерности в задачах прогнозирования климата и сейсмической активности. Кратко поясним суть этого метода. Матрица информативностей (2) рассчитывается на основе системной теории информации /19/ непосредственно на основе эмпирических данных и представляет собой таблицу, в которой столбцы соответствуют *обобщенным* образам классов, т.е. будущим состояниям моделируемой системы, строки – значениям факторов, влияющих на эту систему, а на пересечениях строк и

столбцов находится количество информации, которое содержится в факте действия значения фактора, соответствующего строке, на переход системы в состояние, соответствующее столбцу. Максимальное количество информации, которое может быть в значении фактора, определяется числом будущих состояний моделируемой системы. Модуль количества информации отражает силу влияния значения фактора, а знак – направление этого влияния, т.е. то, способствует он или препятствует наступлению данного состояния. Если последовательности классов и значений факторов образуют порядковые шкалы или шкалы отношений, т.е. соответственно, на них определены отношения «больше-меньше» или, кроме того, единица измерения, начало отсчета и арифметические операции, то матрица информативностей допускает наглядную графическую визуализацию, *традиционного* для функций типа, когда значения факторов рассматриваются в качестве значений аргумента, а классы, о наступлении которых в этих значениях факторов содержится *максимальное* количество информации – в качестве значений функции. Другие классы, менее обусловленные данным значением фактора, а также те, наступлению которых это значение препятствует в большей или меньшей степени, также могут отображаться соответствующими цветами, и это также может представлять интерес, т.к. позволяет задействовать мощные способности человека к анализу изображений. Когнитивные функции, представляемые в форме матрицы информативностей, соответствуют очень общему виду функциональной зависимости: *многозначной функции многих аргументов*, т.к. каждое значение фактора влияет на все состояния моделируемого объекта, и каждое его состояние обусловлено всеми значениями факторов /20/.

На рис. 2 представлены фрагменты матрицы информативностей моделей M170(RA,L,P) и M170(B,L). Визуализация этих фрагментов осуществлялась на основе программы InfVisual v. 2.2 (авторы: Д. Бандык и Е.В. Луценко). Из представленных на рис. 2 данных следует, что существует влияние солнечных пятен на сейсмические события, но это влияние не подобно влиянию индукции магнитного поля. Отметим, что в работе /16/

было установлено подобие влияния долготы Сатурна и вариаций магнитного поля на сейсмические события.

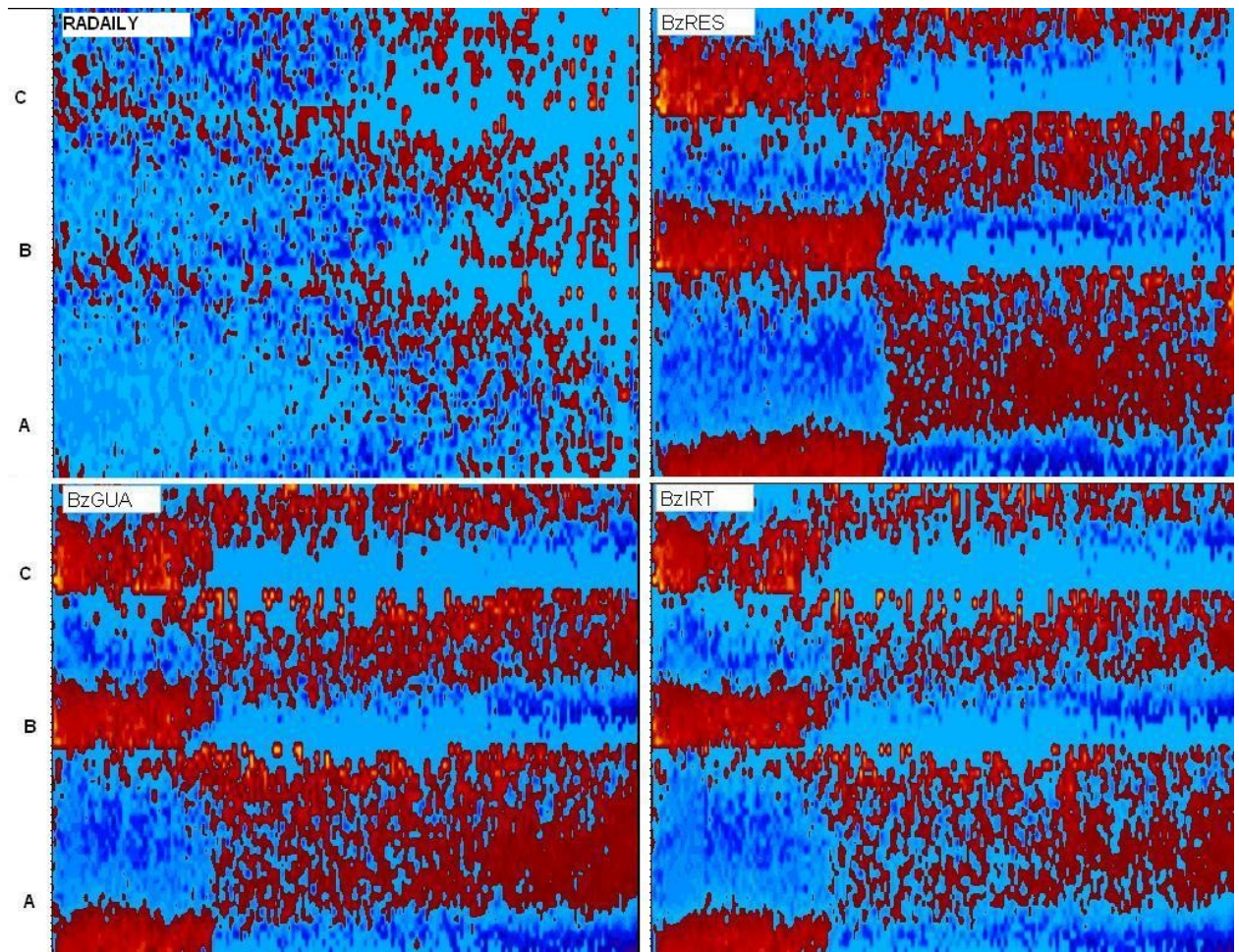


Рис. 2. Зависимость частоты категорий однократных (А), двукратных (В) и трехкратных (С) сейсмических событий с магнитудой $m_b \geq 4$ от параметра RADAILY и вариаций вертикальной компоненты индукции магнитного поля Земли на трех станциях в 1963-2006 гг по данным /10/ в модели M170.

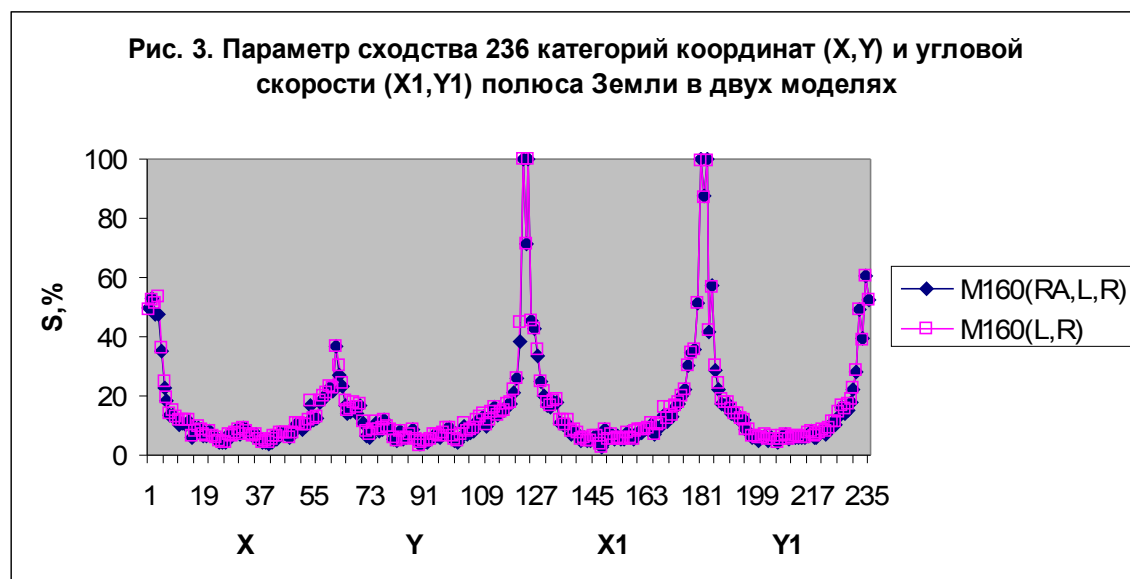
Информационная модель влияния солнечных пятен на движение полюса Земли

Технология моделирования движения полюса Земли на основе системы «Эйдос-астра» описана в работе /16/. Исследуемая база данных категорий движения полюса Земли была сформирована на основе данных IERS /12/. При создании информационных моделей движения полюса в настоящей

работе были использованы данные по индексу солнечной активности RADAILY /9/, данные по индукции магнитного поля Земли /10/, а также данные по сейсмическим событиям /11/.

Из исходной базы было образовано несколько различных БД для исследования влияния входных параметров на координаты и скорость движения полюса. Для сравнения с данными моделирования /16-18/ была образована база, охватывающая 16032 дня наблюдений с 9 февраля 1963 г по 31 декабря 2006 г.

На рис. 3 представлен параметр сходства категорий координат и угловой скорости движения полюса в двух моделях – $M160(L,R)$ и $M160(RA,L,R)$, которые зависят от астрономических параметров долготы и расстояния, но во вторую из них добавлен параметр RADAILY. Обе модели дают практически идентичные результаты, но влияние случайного изменения числа пятен приводит к некоторому понижению среднего параметра сходства с 15,694% в модели $M160(L,R)$ до 15,132% в модели $M160(RA,L,R)$.



Визуализация матрицы информативностей позволяет установить, что влияние солнечных пятен на движение полюса Земли подобно влиянию расстояния до Солнца или Сатурна – рис. 4. Сравнивая данные на рис. 2 и 4 находим, что влияние солнечных пятен на сейсмические события подобно их влиянию на движение полюса Земли. Механизм этого влияния не известен. Можно предположить, что солнечные пятна захватывают не только

магнитное поле, но и гравитомагнитное поле, связанное с вращением вещества. В этом случае каждый акт появления или исчезновения пятен связан с изменением гравитомагнитного поля, которое влияет на угловую скорость вращения нашей планеты /16-18/.

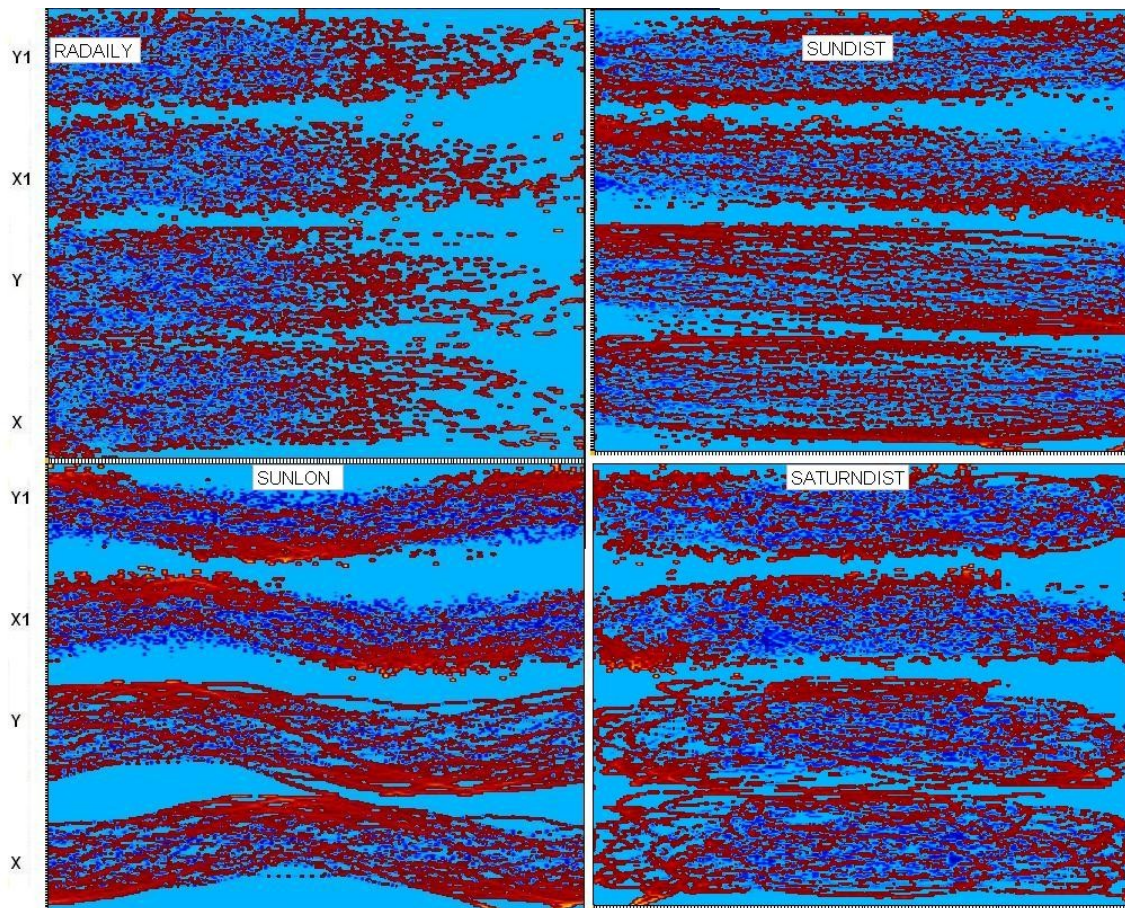
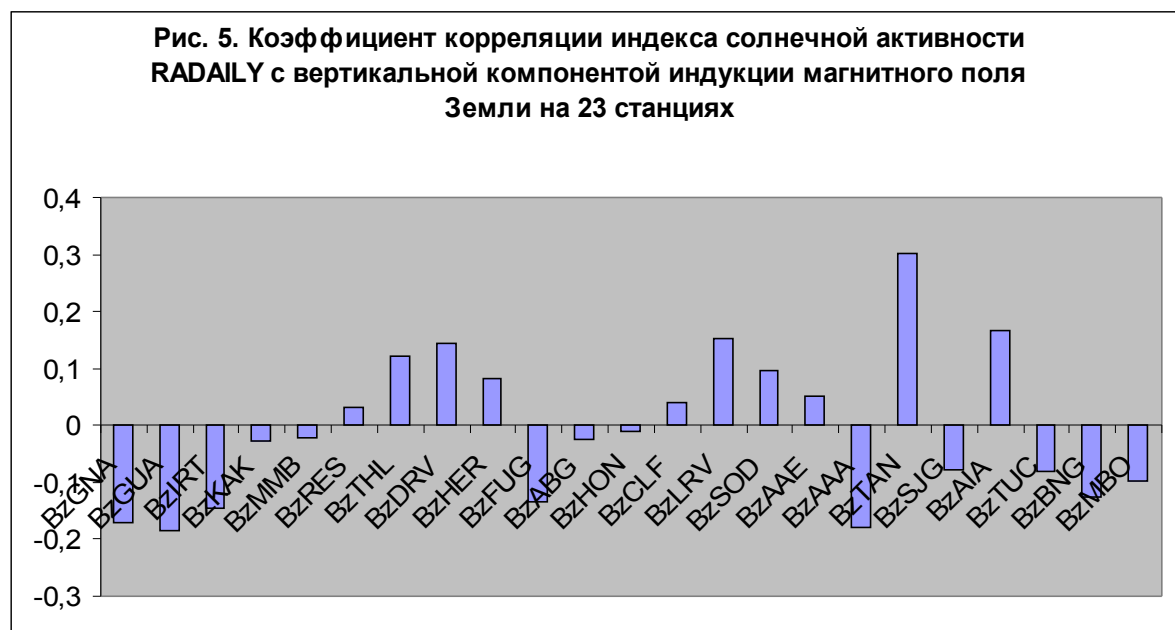


Рис. 4. Зависимость координат и угловой скорости движения полюса Земли от параметра RADAILY, долготы Солнца и расстояния до Солнца и Сатурна

Влияние солнечных пятен на магнитное поле Земли

Как известно, число солнечных пятен связано с изменением полярности солнечного магнитного диполя /1, 6/. Поэтому, можно ожидать, что есть прямая связь между параметром RADAILY и вариациями индукции магнитного поля земли. На рис. 5. приведены коэффициенты корреляции параметра RADAILY с вертикальной компонентой индукции магнитного поля на протяжении 16032 дней по измерениям на 23 станциях,

перечисленных выше. Средний коэффициент корреляции по всем станциям составляет около $-0,00409$, что, на первый взгляд, свидетельствует об отсутствии связи между числом пятен на Солнце и вариациями магнитного поля Земли. С другой стороны, данные /2-5/ и другие указывают на наличие такой связи. Для объяснения этого парадокса была разработана специальная методика вычисления геомагнитных индексов, которые изменяются подобно параметру RADAILY или числу Вольфа /21/. Такие индексы составляются на основе часового, трехчасового, суточного, месячного или годового изменения энергии магнитного поля. В частности, в монографии /21/ были построены месячные и годовые средние комбинации вариаций магнитного поля, которые имеют коэффициент корреляции с числом пятен на Солнце $0,654$ и $0,884$ соответственно – рис. 6.



Начиная с 1 января 1964 года IAGA было рекомендовано не использовать вертикальную компоненту индукции магнитного поля при вычислении индексов геомагнитной активности, поскольку влияние местных аномалий может быть весьма велико для вертикальной компоненты поля. Это представляется несколько странным, так как в средних и высоких широтах вертикальная компонента поля превосходит горизонтальную составляющую.

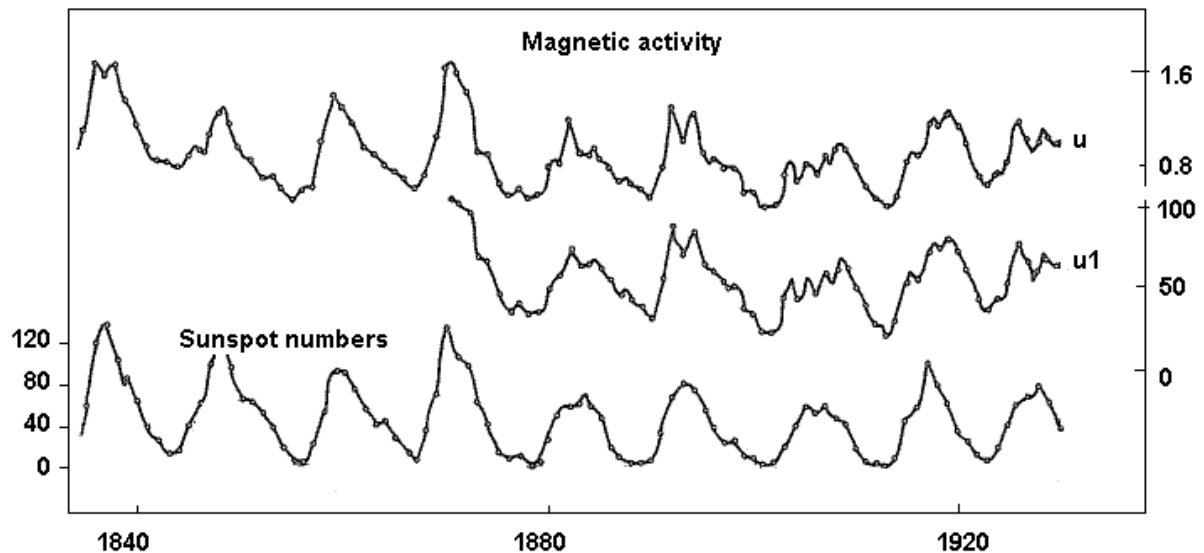


Рис. 6. Число пятен на Солнце и индексы геомагнитной активности в 1830-1930 гг по данным /21/.

Можно предположить, что некоторые выборки их рядов данных RADAILY будут иметь более высокий коэффициент корреляции с вертикальной компонентой индукции магнитного поля, нежели весь ряд. Таким образом были образованы новые ряды данных, удовлетворяющие условию $RADAILY > C$, а также годичный ряд и ряд 74 дня – таблица 2. Укороченные ряды действительно имеют более высокий коэффициент корреляции на некоторых станциях, однако средний по всем 23 станциям коэффициент корреляции имеет максимум 0,06 для годичного ряда, что значительно меньше величины 0,884, полученной авторами /20/ для корреляции среднегодовых величин геомагнитного индекса и числа солнечных пятен.

Полученные результаты означают, что влияние солнечных пятен на магнитное поле Земли является опосредованным. Согласно /21-22/ в механизм этого влияния включены такие сложные системы, как земная магнитосфера и ионосфера, а также хромосфера Солнца.

Таблица 2. Изменение коэффициента корреляции параметра RADAILY с вариацией вертикальной компоненты индукции магнитного поля на шести станциях и среднее значение по 23 станциям для различной выборки данных.

RADAILY	BzGNA	BzGUA	BzIRT	BzTHL	BzDRV	BzLRV	AVERAGE23
N=16032	-0,172	-0,186	-0,145	0,121	0,143	0,152	-0,00408696
N(RA>9)=13890	-0,187	-0,209	-0,152	0,119	0,134	0,124	-0,01105652
N(RA>50)=8459	-0,238	-0,257	-0,189	0,133	0,0904	0,129	-0,02345044
N=5162(RA>90)	-0,227	-0,248	-0,211	0,127	0,00867	0,0934	-0,03587739
N=3749(RA>110)	-0,249	-0,242	-0,213	0,113	0,00505	0,096	-0,0374187
N=365	-0,0578	0,146	0,295	-0,126	-0,129	-0,212	0,06005909
N=74	-0,152	-0,00877	-0,146	0,172	0,521	0,227	-0,02464864

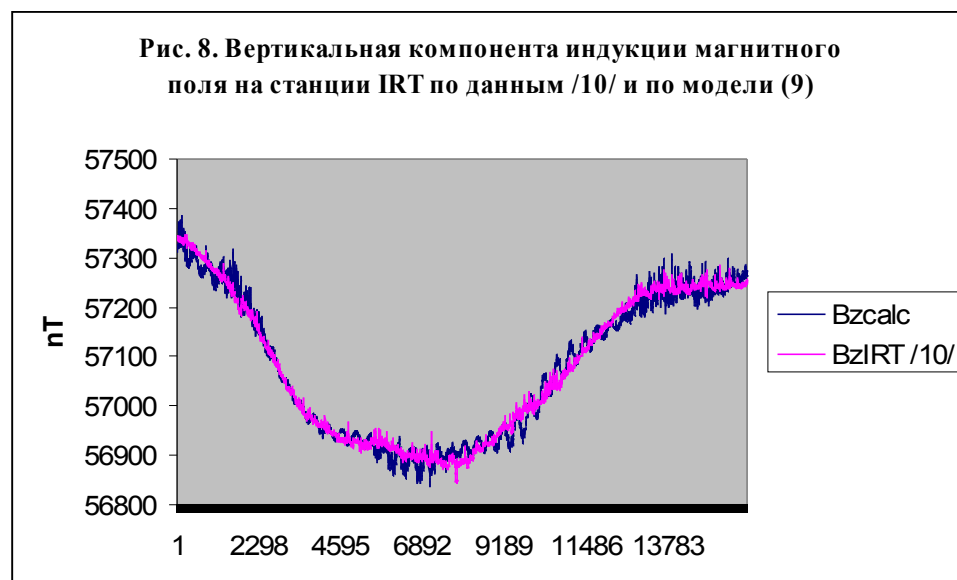
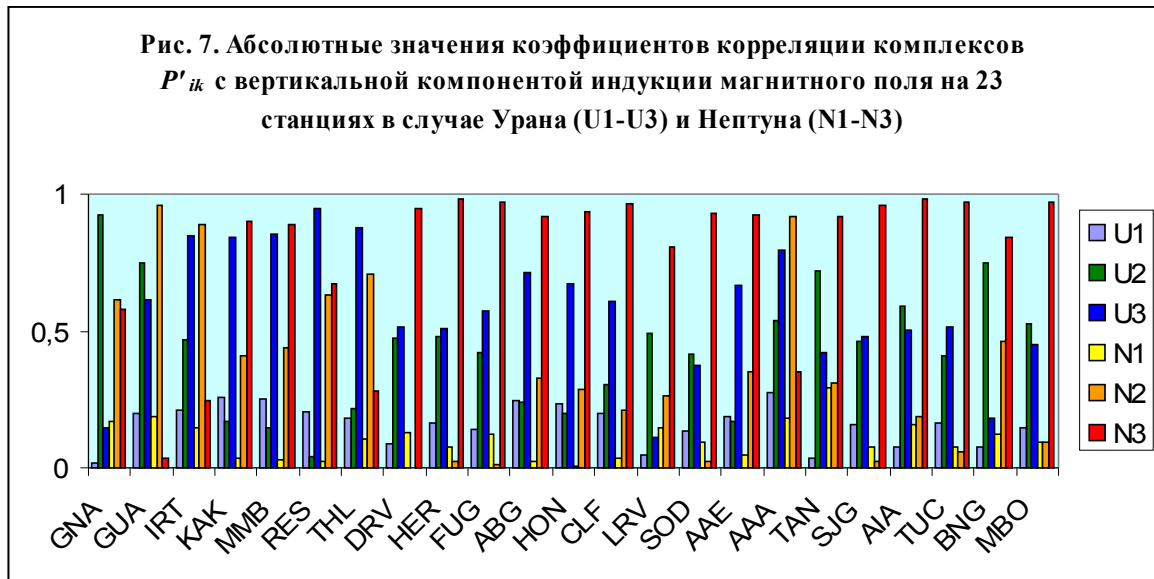
С другой стороны, в работах /13, 17/ и других было показано, что на магнитное поле Земли существенное влияние оказывают небесные тела Солнечной системы. Особая роль в этом влиянии принадлежит Урану и Нептуну. Гипотеза опосредованного влияния солнечных пятен на земную магнитосферу находит свое подтверждение в рамках следующей модели. Рассмотрим обобщение параметров (5) с учетом влияния солнечных пятен в виде

$$P'_{ik} = (H_{0i} + \text{RADAILY})P_{ik} \quad (8)$$

Здесь H_{0i} – интегральный параметр, описывающий предисторию влияния солнечных пятен на магнитосферу данного небесного тела. Физический смысл выражения (8) довольно очевиден: опосредованное влияние солнечных пятен включает медленный интегральный процесс и быстрый процесс, который распространяется со скоростью света. При этом предполагается, что солнечные пятна индуцируют дипольное излучение путем воздействия на магнитосферу небесного тела.

На рис. 7 представлены абсолютные значения коэффициентов корреляции комплексов (8) в случае Урана и Нептуна с вертикальной компонентой индукции магнитного поля Земли. Отметим, что в отличие от параметра RADAILY – см. рис. 5, комплексы (8) имеют высокий, вплоть до 0,98, коэффициент корреляции с вертикальной компонентой индукции. Интегральный параметр, фигурирующий в выражении (8), принят постоянным и равным $H_{0i} = 365$. Это значение не было оптимизировано для указанных небесных тел. На рис. 8 представлена вертикальная компонента индукции магнитного поля на станции IRT на протяжении 16032 дней и

расчет по модели регрессии с использованием комплексов (8) Сатурна, Урана и Нептуна.



Модель регрессии для вертикальной компоненты индукции магнитного поля по измерениям на станции IRT в 1963-2006 гг имеет вид:

$$Bz_{IRT} = 57018,444 - (11,876 * U1) + (0,380 * U2) - (26,526 * U3) + (29,236 * N1) - (88,599 * N2) + (2,715 * N3) - (1,014 * SA1) - (3,275 * SA2) - (1,252 * SA3) \quad (9)$$

Хотя модель регрессии (9) имеет высокую точность, $R_{sq} = 0,981$, шум магнитных бурь явно завышен по отношению к эксперименту, что, видимо, обусловлено выбором сравнительно малой величины интегрального параметра при вычислении комплексов (8). Комплексы (8) были

использованы для моделирования магнитного поля на станциях, перечисленных в таблице 3.

Таблица 3. Коды и географические координаты магнитных обсерваторий

Station	Dumont d'Urville	Hermanus	Gnangara	Fuquene	Guam	Alibag	Honolulu	Kakioka
IGA Code	DRV	HER	GNA	FUQ	GUA	ABG	HON	KAK
Lat	-66,667	-34,425	-31,8	5,47	13,59	18,638	21,32	36,232
Long	140,009	19,227	118	286,265	144,89	72,874	204	140,188
Station	Chambon-la-Forêt	Furstenfeldbruck	Dourbes	Hartland	Niemegk	Patrony	Meanook	Lerwick
IGA Code	CLF	FUR	DOU	HAD	NGK	IRT	MEA	LER
Lat	48,017	48,17	50,1	51	52,072	52,167	54,615	60,133
Long	2,269	11,3	4,8	355,519	12,675	104,47	246,655	358,817
Station	Baker Lake	Resolute Bay	Qaanaaq (Thule)	Sodankyla	Alma Ata	Addis Ababa	Antananarivo	San Juan
IGA Code	BLC	RES	THL	SOD	AAA	AAE	TAN	SJG
Lat	64,333	74,69	77,483	67,367	43,25	9,03	-18,917	18,117
Long	263,969	265,105	290,833	26,633	76,917	38,765	47,552	293,85
Station	MBour	Faraday Islands	Apia	Bangui	Tucson	Byrd Station 2	Meanook	Cape Wullen (Uelen)
IGA Code	MBO	AIA	API	BNG	TUC	BYR	MEA	CWE
Lat	14,384	-65,245	-13,807	4,333	32,17	66,163	54,615	66,163
Long	343,033	295,742	188,225	18,867	249,27	240,483	246,653	190,165
Station	Nurmijarvi	Valentia	Wingst	College	Kanozan	Niemegk	Memambetsu	Leirvogur
IGA Code	NUR	VAL	WNG	CMO	KNZ	NGK	MMB	LRV
Lat	60,508	51,933	53,743	64,87	35,256	52,072	43,91	64,183
Long	24,655	349,75	9,073	212,14	139,956	12,675	144,189	338,5

Наконец, заметим, что предложенную выше модель опосредованного влияния солнечных пятен на магнитное поле Земли можно обобщить на случай гравитомагнитного взаимодействия небесных тел /18/. В этом случае изменение числа солнечных пятен сказывается непосредственно на скорости движения полюса, вследствие чего в ускорении полюса возникает случайная составляющая. Солнечный ветер вносит также вклад в угловой момент сил за счет взаимодействия заряженных частиц с магнитным полем Земли. Оба эффекта приводят к наблюдаемому сложному движению полюса. Описания этой модели и результаты моделирования будут даны в наших последующих работах.

Ссылки

http://chaosandcorrelation.org/Chaos/CR01_2011.pdf

1. Babcock H. W. The Topology of the Sun's Magnetic Field and the 22-Year Cycle. *Astrophys. J.* 133 (2), 572–587, 1961
2. Александр ЧИЖЕВСКИЙ. Физические факторы исторического процесса. -Калуга, 1924. <http://www.humanities.edu.ru/db/msg/49653>
3. Чижевский А. Л. Земное эхо солнечных бурь. — М., 1976.
4. Carlos Garcia-Mata C, Shaffner FI. Solar and economic relationships: a preliminary report. *The Quarterly Journal of Economics* (The MIT Press) 49 (1): 1–51. November 1934.
5. Lowell WE, Davis GE Jr. The light of life: Evidence that the sun modulates human lifespan. *Medical Hypotheses* 70 (3): 501–507. 2008.
6. 2009 Heliophysics Roadmap Team Report to the NASA Advisory Council, Heliophysics Subcommittee, May 2009, [Heliophysics_Roadmap_2009_tagged-quads.pdf](#)
7. <http://www.solarcycle24.com/>
8. 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>
9. National Geophysical Data Center/ <http://www.ngdc.noaa.gov/ngdc.html>
10. World Data Centre for Geomagnetism (Edinburgh)/ <http://www.wdc.bgs.ac.uk/>
11. International Seismological Center/ <http://www.isc.ac.uk/>
12. Earth orientation centre / <http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/>
13. 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>
14. 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>
15. 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>
16. Трунев А.П. Автоматизированный системно-когнитивный анализ влияния тел Солнечной системы на движение полюса Земли и визуализация причинно-следственных зависимостей в виде когнитивных функций / А.П. Трунев, Е.В. Луценко, Д.К. Бандык // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2011. – №01(65). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2011/01/pdf/20.pdf>
17. 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>
18. 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>

19. 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.
20. Луценко Е.В. Когнитивные функции как адекватный инструмент для формального представления причинно-следственных зависимостей / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – №09(63). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2010/09/pdf/01.pdf>
21. S. Chapman, J. Bartels. Geomagnetism, (2 vol.) 1049 pp., Oxford Univ. Press, New York, 1940.
22. Hannes Alfvén. *Cosmical Electrodynamics*, 1st ed., 237 pp., Oxford University Press. New York. 1950.