

УДК 303.732.4

UDC 303.732.4

СЕМАНТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ГЛОБАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПРИ СМЕЩЕНИИ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО И МАГНИТНОГО ПОЛЮСА

SEMANTIC INFORMATION MODEL OF THE GLOBAL SEISMIC ACTIVITY IN RELATION TO DISPLACEMENT OF GEOGRAPHICAL AND MAGNETIC POLES

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

Alexander Trunev
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

На основе семантических информационных моделей исследована зависимость параметров сейсмической активности от положения небесных тел и смещения географического и магнитного полюса

Dependence of seismic activity parameters on celestial bodies' positions and geographical and magnetic poles displacement is examined on the basis of semantic information models

Ключевые слова: АСТРОСОЦИОТИПОЛОГИЯ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ, СЕМАНТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ, ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ, ПРОГНОЗ, ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ПОЛЮС, МАГНИТНЫЙ ПОЛЮС

Keywords: ASTROSOCIOTIPOLOGY, COMPUTATIONAL EXPERIMENT, SEMANTIC INFORMATION MODELS, EARTHQUAKE FORECAST, GEOGRAPHICAL POLES, MAGNETIC POLES

Введение

В работах /1-4/ была развита модель прогнозирования землетрясений по астрономическим данным, опирающаяся на теорию и модели астросоциотипологии /5-7/. Эти модели обеспечивают многопараметрическую типизацию (обобщение) конкретных землетрясений, описанных астрономическими данными, и формирование обобщенных образов (классов) землетрясений, в которые они объединяются по их магнитуде и глубине гипофокуса. Моделирование сейсмических событий осуществлялось по параметру сходства между описаниями конкретных землетрясений и обобщенными образами классов на основе системы искусственного интеллекта «Эйдос-астра» /8-9/. База данных землетрясений была сформирована на основе оперативного сейсмологического каталога ГС РАН /10/, содержащего 65541 запись событий землетрясений, произошедших в различных регионах мира в период с 1 января 1993 года по 20 ноября 2008 г.

Была обнаружена зависимость параметра сходства от магнитуды, глубины очага (гипофокуса) и числа землетрясений, происходящих ежедневно на нашей планете, как в месячном, так и в 2-3 дневном прогнозе.

В работе /4/ представлены результаты прогнозирования параметров сейсмической активности по астрономическим данным на основе семантических информационных моделей с использованием всемирной базы землетрясений /11/, 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). Полученные

в работе /4/ результаты находятся в согласии с данными /1-3/, что позволяет расширить область применения развитых в этих работах моделей. Как было установлено, увеличение длины ряда с 5082 до 16032 дней и числа событий с 65541 до 128320 позволяет существенно поднять как среднее так максимальное значение параметра сходства категории магнитуда.

Это означает, что с увеличением количества событий и длины временного ряда исследуемых сейсмических событий (землетрясений) возрастает степень когерентности данных и достоверность прогнозирования событий по астрономическим данным. По мнению авторов это происходит за счет улучшения условий для подавления шума при увеличении объема выборки и подтверждает, что воздействие небесных тел является фактором, существенно влияющим на формирование умеренных и сильных землетрясений. Эти результаты согласуются с известными моделями прогнозирования землетрясений /12-14/.

Вместе с тем, по-видимому, среди факторов, влияющих на глобальную сейсмическую активность Земли, следует учесть не только внешние для нее космические факторы, такие как приливное воздействие, но и внутренние, чисто Земные, такие, как смещение географического и магнитного полюсов. В настоящей работе исследованы семантические информационные модели, содержащие данные о сейсмических событиях /11/, астрономические параметры небесных тел, параметры смещения географического полюса по данным /15/, а также параметры магнитного поля земли, полученные вблизи магнитных полюсов, из всемирной базы /16/. Установлено, что добавление в информационную модель данных по магнитному полю и смещению географических полюсов позволяет увеличить достоверность прогноза землетрясений, что указывает на существование *глобальных общепланетарных* механизмов формирования сейсмических событий.

Задача о распознавании категорий событий в поле центральных сил

Рассмотрим задачу распознавания категорий по астрономическим данным /1-4, 7/. Имеется множество событий A , которому ставится в соответствие множество категорий C_i . Событием можно считать регистрацию землетрясения сейсмологической станцией, а категорией – его магнитуду, лежащую в определенном *интервале* и глубину гипофокуса. В геофизике *событием* будем называть любое измерение геофизических параметров – магнитного поля, ориентации оси вращения, температуры, скорости и т.п., путем многопараметрической типизации (обобщения) которых формируются обобщенные образы категорий (классы). 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 и расстояния. Бу-

дем считать, что заданы частотные распределения N_i – число событий, имеющих отношение к данной категории C_i .

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

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

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

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 информативности согласно /9/

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

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

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

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

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) /9/. 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 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 данных события с той или иной категорией можно определить по величине скалярного произведения вектора (4) на вектор (3), т.е. в координатной форме:

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

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» /8/ осуществляется по параметру сходства, который определяется следующим образом /6/:

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

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_{i1} – 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

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

В работах /5-6/ и других было показано, что процедура распознавания по параметру сходства (6), 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 /9/. Причина, по которой оказывается возможным идентифицировать подмножества (категории) событий различной даже случайной природы, используя астрономические параметры, достаточно очевидна. Ведь фактически идентифицируются распределения, которые образуются при *модулировании* исходных распределений астрономическими параметрами /5/. В некоторых случаях этого достаточно, чтобы осуществить распознавание категорий.

Технология моделирования сейсмической активности

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.

В состав системы «Эйдос-астра» /8/ входят программные интерфейсы, позволяющие объединять разрозненные данные /11/ в единую базу данных, выделять различные сегменты данных, производить необходимые вычисления со всеми исследованными базами исходных данных. С применением данного программного интерфейса из исходных данных /11/ было образовано несколько различных БД для исследования влияния астрономических параметров на магнитуду и глубину гипофокуса, на ежедневное число землетрясений, а также на средние параметры сейсмической активности. В настоящей работе 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 качестве астрономических параметров были использованы долгота 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.

Кроме того, в модели были использованы координаты географического полюса – x_{EOP} , $y_{EOP}/15/$, а также данные по вертикальной компоненте магнитной индукции - B_z , полученные вблизи Северного магнитного полюса на станции Resolute Bay (IAGA Code: RES; lat: 74.69; long: 265.105) /16/. Отметим, что параметр B_z достаточно точно отражает не только ежедневную вариацию магнитного поля, обусловленную, например, солнечной активностью, но и величину смещения магнитного полюса, поскольку он получен путем измерения магнитного поля на станции с фиксированными географическими координатами.

Из астрономических параметров, координат географического полюса, параметра индукции магнитного поля B_z и категорий сейсмической активности была создана база данных, содержащая 16032 записи с обобщенной информацией о *ежедневной* сейсмической и геофизической активности Земли.

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 $M=2,3,\dots,173$.

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. Решение этой задачи по данным /10/ было рассмотрено в работах /1-3/, а по данным /11/ в работе /4/.

Параметр сходства категорий магнитуды

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

- А – событие с магнитудой m_b повторяется один раз;
- В – событие с магнитудой m_b повторяется два раза;
- С – событие с магнитудой m_b повторяется три раза.

Кроме того, можно рассмотреть случай, когда, например, категория А усекается, путем отбрасывания некоторых событий. Таким образом, была образована категория $AA_i = A_i, \quad 42 \leq i \leq 59$.

На рис. 1 и в таблице 1 представлен параметр сходства категории магнитуда в трех информационных моделях:

- M160(G) – содержит только астрономические параметры;
- M160(G,EOP) – астрономические параметры и координаты географического полюса x_{EOP}, y_{EOP} ;
- M160(G,EOP, B_z) – астрономические параметры, координаты географического полюса и параметр индукции магнитного поля.

Таблица 1. Параметр сходства категории магнитуда в трех моделях

Категория	M160(G)	M160(G,EOP)	M160(G,EOP, B_z)	Число случаев
A40-Mb=4,0	-18,593	-15,505	-19,975	1362
A41-Mb=4,1	-8,208	-5,448	-7,362	1580
A42-Mb=4,2	-1,797	0,993	0,934	1796
A43-Mb=4,3	4,889	8,250	7,752	2224
A44-Mb=4,4	-4,445	-1,930	-2,027	2744
A45-Mb=4,5	-0,364	0,716	-0,140	3358
A46-Mb=4,6	8,102	9,573	8,900	4119
A47-Mb=4,7	11,303	11,363	9,578	4768
A48-Mb=4,8	13,381	12,652	11,214	4954
A49-Mb=4,9	17,503	17,331	16,008	5008
A50-Mb=5	26,141	26,952	24,753	4904
A51-Mb=5,1	29,802	28,582	25,574	4582
A52-Mb=5,2	25,101	25,280	22,211	4134
A53-Mb=5,3	30,307	30,245	28,191	3563
A54-Mb=5,4	28,031	28,697	26,795	3010
A55-Mb=5,5	24,238	23,532	22,688	2367
A56-Mb=5,6	32,491	32,121	31,139	1940
A57-Mb=5,7	31,689	31,439	30,717	1460
A58-Mb=5,8	28,160	28,003	27,846	1179
A59-Mb=5,9	24,738	25,299	24,705	864
A60-Mb=6,0	23,495	23,873	22,988	656
A61-Mb=6,1	29,394	29,719	29,672	453
A62-Mb=6,2	23,934	24,791	24,343	319
A63-Mb=6,3	35,651	35,849	35,507	202
A64-Mb=6,4	42,810	42,797	44,097	137
A65-Mb=6,5	55,802	57,674	60,501	87
A66-Mb=6,6-7,0	63,169	65,357	67,766	68
B40-Mb=4,0	28,361	28,268	30,290	446
B41-Mb=4,1	18,857	19,805	20,165	660
B42-Mb=4,2	9,046	8,452	8,179	835
B43-Mb=4,3	-6,859	-6,084	-9,191	955
B44-Mb=4,4	-14,986	-12,157	-15,705	1099
B45-Mb=4,5	-1,494	1,128	0,257	1223
B46-Mb=4,6	-1,678	0,533	-0,159	1455
B47-Mb=4,7	-1,317	-1,172	-1,871	1612
B48-Mb=4,8	3,926	4,644	2,945	1817
B49-Mb=4,9	3,783	4,491	4,802	1636
B50-Mb=5	15,492	15,632	15,572	1428
B51-Mb=5,1	13,093	12,787	12,390	1206
B52-Mb=5,2	22,413	22,473	22,553	936
B53-Mb=5,3	24,482	23,816	22,955	617

B54-Mb=5,4	21,194	20,821	19,912	422
B55-Mb=5,5	30,487	30,712	30,184	261
B56-Mb=5,6	33,408	33,861	34,219	180
B57-Mb=5,7	56,994	57,037	59,599	93
B58-Mb=5,8	61,514	64,016	66,800	73
B59-Mb=5,9-6,4	62,605	64,548	66,552	69
C40-Mb=4,0	53,018	55,308	59,797	130
C41-Mb=4,1	35,327	36,118	39,149	259
C42-Mb=4,2	22,208	22,766	24,794	362
C43-Mb=4,3	21,621	22,491	23,921	436
C44-Mb=4,4	19,875	19,035	20,244	482
C45-Mb=4,5	11,685	11,468	10,396	468
C46-Mb=4,6	2,741	4,193	1,167	515
C47-Mb=4,7	5,517	8,352	7,265	501
C48-Mb=4,8	10,420	12,862	12,103	450
C49-Mb=4,9	15,730	16,235	16,365	447
C50-Mb=5	20,558	21,439	22,122	356
C51-Mb=5,1	22,202	23,067	23,448	293
C52-Mb=5,2	35,702	35,504	37,099	166
C53-Mb=5,3-6,0	48,043	50,344	52,712	105
Среднее значение	20,995	21,820	21,564	1374



Из данных, приведенных на рис. 1 и в таблице 1 следует, что добавление геофизических параметров, связанных со смещением географического и магнитного полюса и с ежедневной вариацией планетарного магнитного поля приводит к росту как среднего, так и максимального параметра сходства. Однако этот рост не столь велик, как можно было бы ожидать, если бы механизм формирования землетрясений был автономным, зависящим только от местных условий. Фактически на долю геофизиче-

ских параметров приходится не более 5-6%, причем их вклад увеличивается для сильных и многократно повторяющихся сейсмических событий.

Ранее было показано [3-4], 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 [9] 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.

На рис. 2-3 представлены фрагменты матрицы информативности модели M12(G,EOP), позволяющие оценить степень влияния параметров смещения географического полюса на категории сейсмической активности из таблицы 1. Было установлено, что параметры x_{EOP} , u_{EOP} влияют на категории магнитуды несимметрично и что их влияние сильнее проявляется в случае многократных событий.

Рис. 2. Зависимость однократных событий от параметра u_{EOP}

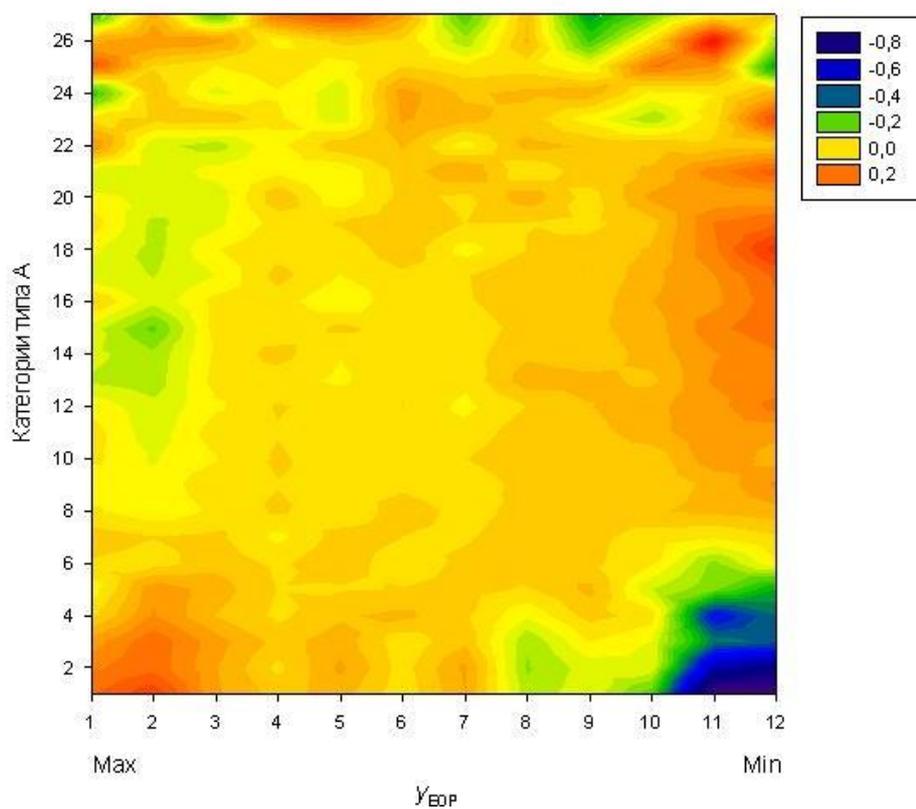
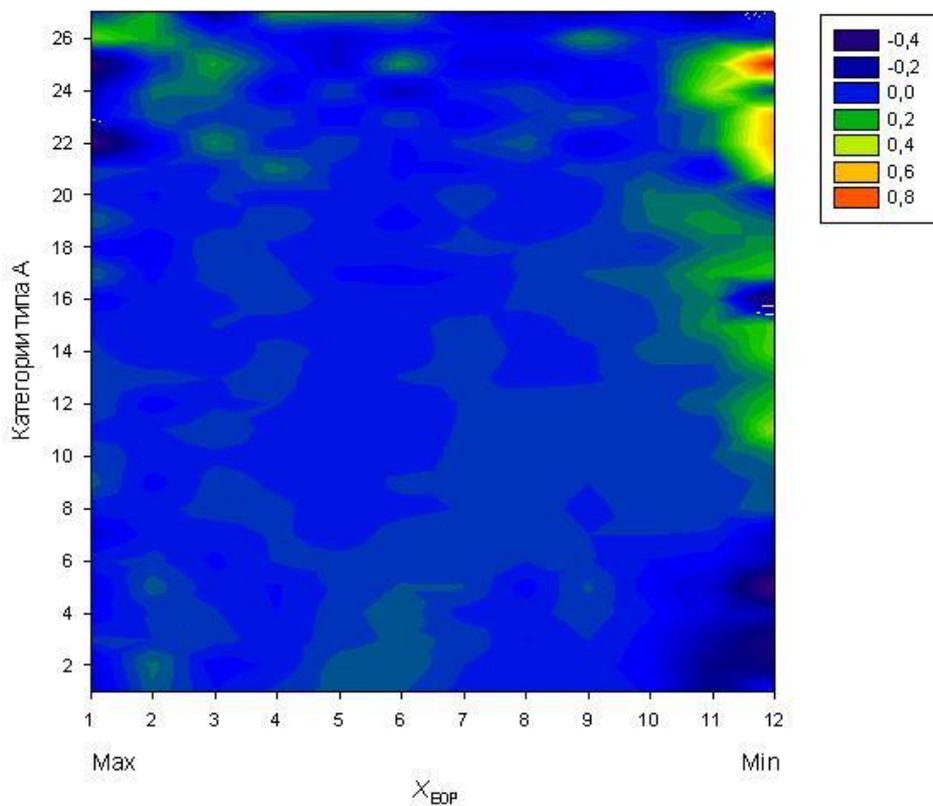


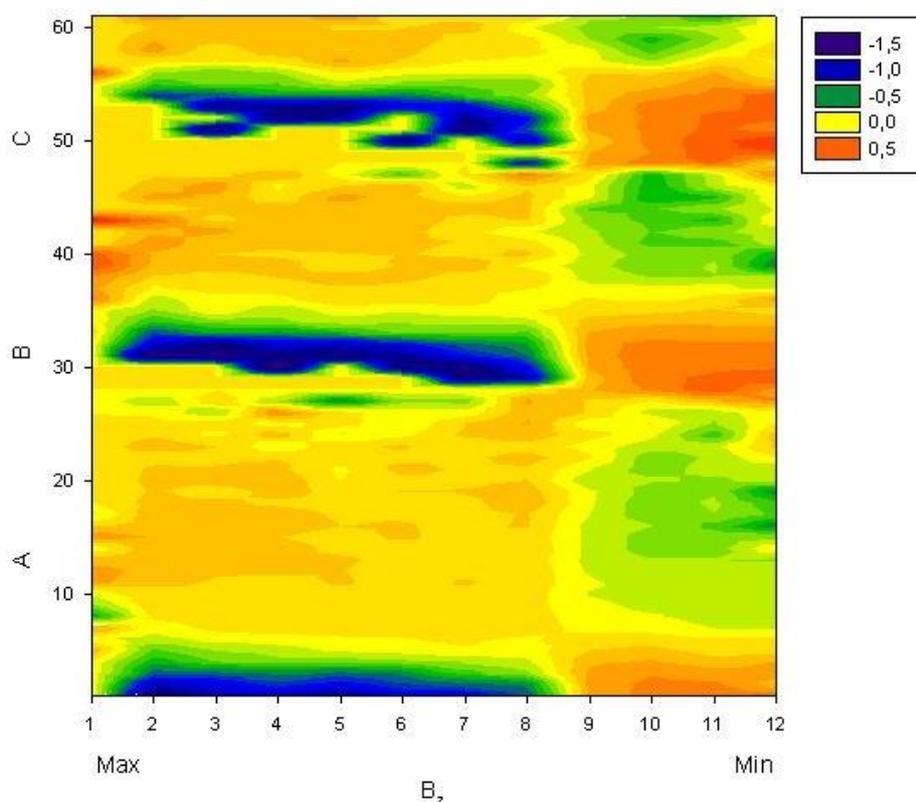
Рис. 3. Зависимость однократных событий от параметра X_{EOP}



Из сопоставления данных на рис. 2-3 хорошо видно, что параметр u_{EOP} влияет на однократные события во всей области своего изменения, тогда как параметр x_{EOP} влияет жестко, возбуждая сильные землетрясения при отклонении в минимальное положение. Отметим, что параметр x_{EOP} соответствует движению земной оси вдоль меридиана Гринвич, а параметр u_{EOP} описывает движение вдоль перпендикулярной к меридиану Гринвич оси - $90^\circ W$. Механизм влияния смещения земной оси на сейсмические события в настоящее время не установлен, хотя предпринимались неоднократные попытки определить обратное влияние сейсмических событий на скорость вращения Земли /17/.

На рис. 4 представлен фрагмент матрицы информативности модели $M12(G, EOP, B_z)$, на основе которого можно оценить степень влияния параметра магнитной индукции на категории А, В, С сейсмической активности из таблицы 1.

Рис. 4. Зависимость категорий магнитуды от параметра B_z



Из этих данных следует, что вариации напряженности магнитного поля заметно влияют на события трех типов, увеличивая вероятность проявления многократных событий с уменьшением вертикальной компоненты вектора магнитной индукции. Механизм влияния магнитного поля на сейсмические события в настоящее время неизвестен, хотя установлен обратный эффект влияния сейсмического электромагнитного излучения на магнитосферу – это т.н. сейсмомагнитосферные связи /18/.

Корреляционные связи гравитационных, сейсмических и геофизических параметров

Чтобы выяснить, являются ли геофизические механизмы возбуждения землетрясений автономными, или они зависят в свою очередь от параметров небесных тел, рассмотрим корреляционные связи всех параметров задачи.

Определим суммарную и среднюю магнитуду, магнитуду энергии и объема в виде:

$$\begin{aligned}
 SM &= \sum_{i=1}^n mb_i \\
 SE &= \ln \sum_{i=1}^n \exp(amb_i) \\
 SV &= \ln \sum_i H_i^3 \exp(amb_i) \\
 M &= SM / n, E = SE / n, V = SV / n
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Здесь n – число ежедневных событий, H – глубина очага. Параметр энергии задан постоянным и равным $a=1.5$.

Отметим, что магнитуда mb рассчитывается по максимальной скорости смещения в короткопериодных объемных волнах по формулам [11]:

$$mb = \log_{10}(A/T) + Q(\Delta, H)
 \tag{8}$$

где, A – амплитуда Р-волн смещение грунта в мкм (рассчитывается по максимальной амплитуде), T – периода в секундах, $T < 3c$; $Q(\Delta, H)$ – функция ослабления Гутенберг и Рихтер (1956), Δ – эпицентральный расстояние в градусах, $21^\circ \leq \Delta \leq 100^\circ$.

Определим параметр гравитационной энергии Солнечной системы и его ежедневное изменение в виде

$$j(t) = \sum_i g \frac{M_i}{R_i(t)}, \quad K = (j(t+T) - j(t))/T
 \tag{9}$$

Здесь g, M_i, R_i – гравитационная постоянная, масса небесного тела и расстояние от него до Земли соответственно, T – длительность земных суток. Суммирование осуществляется по всем небесным телам, параметры которых используются в модели.

Рассмотрим таблицу корреляционных связей между всеми параметрами задачи – таблица 2.

Таблица 2. Корреляционные связи параметров задачи, полученные методом Spearman Rank Order Correlation по программе SigmaPlot: для $P < 0,05$ корреляционные связи являются достоверными. N – число точек по которым вычисляется корреляция.

	B_z	X_{ЕОР}	У_{ЕОР}	SM	SE	SU	M	E	V	n
K	-0,00898	-0,41	0,168	-0,0143	0,00101	-0,00131	0,0327	0,019	0,0192	-0,0181
<i>P</i>	0,255	2E-07	2E-07	0,0711	0,899	0,869	3,78E-05	0,0167	0,0155	0,0226
<i>N</i>	16031	16031	16031	15861	15861	15861	15861	15861	15861	15861
B_z		-0,067	-0,219	0,477	0,191	0,172	-0,444	-0,511	-0,49	0,494
<i>P</i>		2E-07	2E-07	2E-07	2E-07	2E-07	2E-07	2E-07	2E-07	2E-07
<i>N</i>		16031	16031	15861	15861	15861	15861	15861	15861	15861
X_{ЕОР}			0,04	-0,0699	-0,0429	-0,0314	0,0324	0,071	0,0681	-0,0692
<i>P</i>			4E-07	2E-07	6,69E-08	7,68E-05	0,000044	2E-07	2E-07	2E-07
<i>N</i>			16031	15861	15861	15861	15861	15861	15861	15861
У_{ЕОР}				-0,206	-0,105	-0,0768	0,145	0,214	0,211	-0,211
<i>P</i>				2E-07	2E-07	2E-07	2E-07	2E-07	2E-07	2E-07
<i>N</i>				15861	15861	15861	15861	15861	15861	15861
SM					0,823	0,419	-0,321	-0,97	-0,977	0,992
<i>P</i>					2E-07	2E-07	2E-07	2E-07	2E-07	2E-07
<i>N</i>					15861	15861	15861	15861	15861	15861
SE						0,351	0,11	-0,714	-0,759	0,775
<i>P</i>						2E-07	2E-07	2E-07	2E-07	2E-07
<i>N</i>						15861	15861	15861	15861	15861
SV							-0,145	-0,404	-0,281	0,419
<i>P</i>							2E-07	2E-07	2E-07	2E-07
<i>N</i>							15861	15861	15861	15861
M								0,49	0,424	-0,422
<i>P</i>								2E-07	2E-07	2E-07
<i>N</i>								15861	15861	15861
E									0,976	-0,986
<i>P</i>									2E-07	2E-07
<i>N</i>									15861	15861
U										-0,985
<i>P</i>										2E-07
<i>N</i>										15861

Из анализа данных, приведенных в таблице 2, следует, что существует положительная корреляционная связь вариаций магнитного поля с числом землетрясений с коэффициентом 0,494, а также положительная корреляционная связь этого параметра с суммарной магнитудой с коэффициентом 0,477. Согласно данным /18/ и полученным выше результатам по распознаванию событий, эта связь является двухсторонней. Отметим, что связь возмущений магнитного поля с происходящими землетрясениями, а также с движением Луны была установлена еще в работах Булгакова Н.А. /19, 20/.

Гипотеза о связи землетрясений с подземными электрическими разрядами высказывалась неоднократно /21-22/, однако доказать наличие этой связи на основании только представленных выше данных не представляется возможным, тогда как обратное влияние землетрясений на возмущения магнитного поля не только легко обнаруживается и является весьма существенным, но и может быть использовано для прогнозирования землетрясений /18/. Тем не менее, можно предположить, что имеется некий механизм влияния возмущений магнитного поля земли на глобальную сейсмическую активность. Дадим обоснование этой гипотезе.

Отметим сильную несимметричную связь смещений географического полюса с ежедневным изменением гравитационного потенциала. При этом вертикальная компонента магнитной индукции также связана со смещениями географического полюса, однако связь B_z с параметром гравитационного поля K довольно слабая. Поставим вопрос, связано ли магнитное поле Земли с положением небесных тел?

Чтобы ответить на этот вопрос были изучены все корреляционные связи вектора магнитной индукции с астрономическими параметрами долготы, широты и расстояний до небесных тел – см. Приложение. Было обнаружено, что имеется сильная корреляционная связь с определенными комбинациями астрономических параметров Урана и Нептуна, которые соответствуют дипольному излучению этих планет. В настоящее время механизм этого явления неизвестен. Однако интегральные параметры сейсмических событий (7), в свою очередь, связаны с указанными комбинациями, поэтому рассмотрим этот вопрос, не вникая в физику процесса.

Связь магнитного поля Земли с астрономическими параметрами Урана

Из параметров долготы (LON), широты (LAT) и расстояния до планеты (R) можно составить комбинации, которые соответствуют дипольному излучению:

$$\begin{aligned}
 U_1 &= \frac{\cos(LON)}{R}, U_2 = \frac{\sin(LON)}{R} \\
 U_3 &= \frac{\cos(LON) \sin(LAT)}{R}, U_4 = \frac{\sin(LON) \sin(LAT)}{R}
 \end{aligned} \tag{10}$$

В таблице 3 приведены коэффициенты корреляции магнитной индукции для трех станций наблюдения, расположенных вблизи магнитных полюсов. Отметим, что R измеряется в астрономических единицах (а.е.) - 1 а.е.= 149 597 870,691 км.

Таблица 3. Корреляция магнитной индукции с комбинациями астрономических параметров Урана для трех станций: Alert (IAGA Code: ALE; lat: 82.5; long: 297.65), Vostok (IAGA Code: VOS lat:-78.45 long: 106.867), Resolute Bay (IAGA Code: RES; lat: 74.69; long: 265.105) /16/.

	U1	U2	U3	U4
BzALE	-0,329	-0,96	0,314	-0,954
<i>P</i>	4,53E-89	0	7,26E-81	0
<i>N</i>	3500	3500	3500	3500
BzVOS	0,819	-0,989	0,914	-0,863
<i>P</i>	0	0	0	0
<i>N</i>	6589	6589	6589	6589
BzRES	-0,732	-0,179	0,322	-0,904
<i>P</i>	0	5,83E-115	0	0
<i>N</i>	16032	16032	16032	16032
BxRES	0,966	-0,343	0,0567	0,653
<i>P</i>	0	0	6,63E-13	0
<i>N</i>	16032	16032	16032	16032
ByRES	-0,853	-0,00252	0,172	-0,79
<i>P</i>	0	0,75	1,80E-106	0
<i>N</i>	15931	15931	15931	15931

Отметим, что коэффициенты корреляции магнитной индукции с параметрами U1-U4 имеют высокие значения для всех перечисленных станций наблюдения. Не задаваясь вопросом о природе этих связей, рассмотрим зависимость индукции от параметров U1-U4, которую можно установить методом многопараметрической регрессии – таблица 4.

Таблица 4. Зависимость магнитной индукции (nT) от комбинаций астрономических параметров Урана для трех станций: Alert (IAGA Code: ALE; lat: 82.5; long: 297.65), Vostok (IAGA Code: VOS lat:-78.45 long: 106.867), Resolute Bay (IAGA Code: RES; lat: 74.69; long: 265.105) /16/.

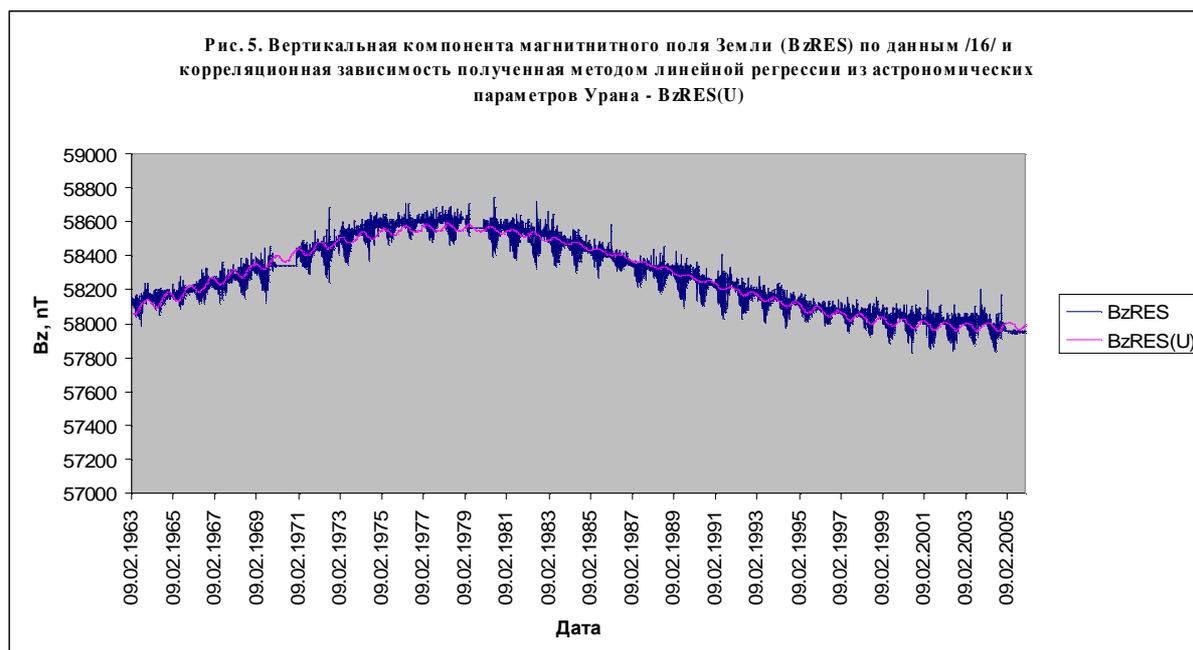
BzALE	= 55550,543 - (2665,273 * U1) - (21506,135 * U2) + (150151,509 * U3) + (979818,061 * U4)	R = 0,963
BzVOS	= -60493,835 - (2611,044 * U1) - (27667,459 * U2) + (94108,464 * U3) + (545622,014 * U4)	R = 0,992
BzRES	= 58267,077 - (2763,148 * U1) - (2831,565 * U2) + (133499,310 * U3) - (482593,967 * U4)	R = 0,978
BxRES	= 865,864 + (15785,104 * U1) + (2203,794 * U2) - (238153,901 * U3) - (565326,409 * U4)	R = 0,994
ByRES	= -986,541 - (3679,303 * U1) - (2003,570 * U2) + (654,962 * U3) - (3139,044 * U4)	R = 0,968

Как следует из приведенных в таблице 4 формул, данные по магнитной индукции на трех станциях наблюдения с большой степенью точности описываются комбинациями астрономических параметров Урана (10), которые соответствуют дипольному излучению этой планеты.

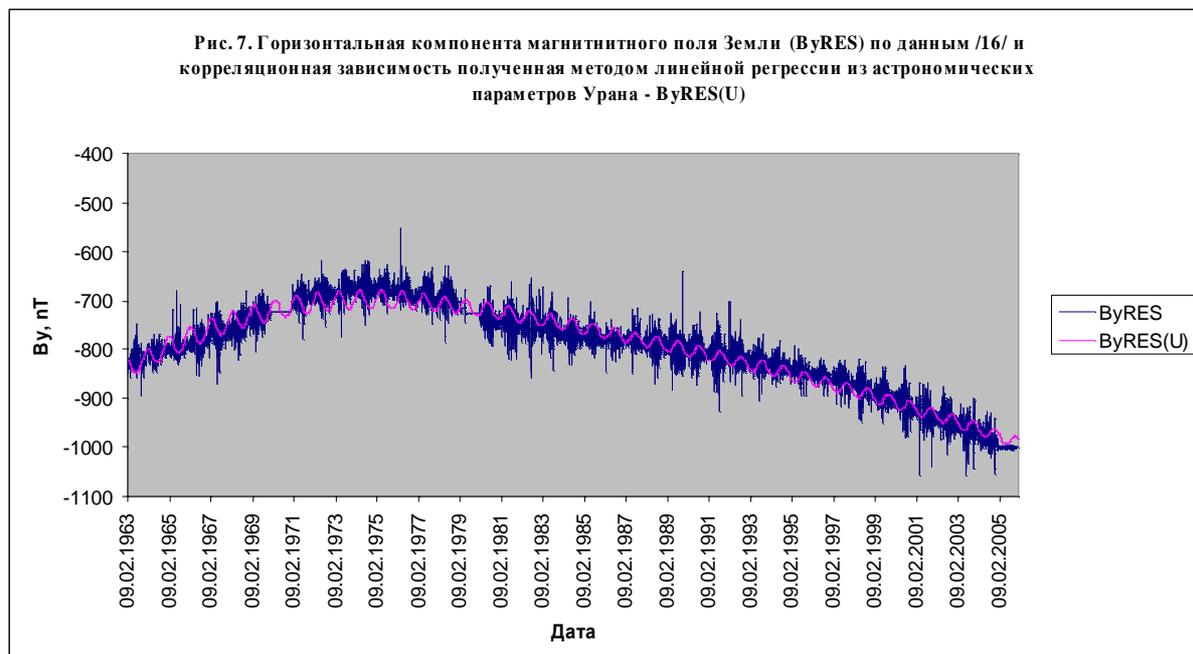
Происхождение комбинаций U_i можно понять, рассматривая электромагнитное излучение диполя, который вращается вокруг некоторой оси (планеты), сохраняющей постоянное направление в пространстве. При этом надо учесть, что отклонение орбиты Урана от плоскости эклиптики

является незначительным, поэтому параметр $LAT \ll 1$, т.е. в слагаемых, содержащих функцию $\cos(LAT)$, можно положить $\cos(LAT)=1$.

На рис. 5-7 представлены зависимости вертикальной и горизонтальной составляющей магнитной индукции по данным /16/ вместе с корреляционными зависимостями, приведенными в таблице 4. Можно отметить не только хорошее совпадение данных с корреляционной зависимостью, но и различия, которые заключаются в несовпадении колебаний магнитного поля и корреляционной зависимости.



Можно предположить, что наряду с Ураном на колебания магнитного поля оказывают влияние другие планеты-гиганты – Юпитер, Сатурн и Нептун. Однако добавление в модель соответствующих (10) комбинаций астрономических параметров этих планет не улучшает существенно полученные зависимости, что свидетельствует о наличии других источников возмущений магнитного поля Земли, например, связанных с колебанием солнечной активности, с полярными сияниями и землетрясениями /19/.



Связь параметров сейсмической активности с астрономическими параметрами Урана и Нептуна

Определим комбинации астрономических параметров Нептуна, которые соответствуют дипольному излучению этой планеты:

$$\begin{aligned}
 NE1 &= \frac{\cos(LON)}{R}, \quad NE2 = \frac{\sin(LON)}{R} \\
 NE3 &= \frac{\cos(LON) \sin(LAT)}{R}, \quad NE4 = \frac{\sin(LON) \sin(LAT)}{R}
 \end{aligned} \tag{11}$$

Учитывая, что согласно данным таблицы 2 имеется корреляционная связь магнитной индукции с интегральными параметрами сейсмической активности (7), а магнитная индукция связана с параметрами дипольного

излучения (10) и (11), рассмотрим корреляционные связи параметров (7), (10) и (11) – таблица 5.

Таблица 5. Корреляционные связи параметров задачи, полученные методом Pearson Product Moment Correlation по программе SigmaPlot: для $P < 0,05$ корреляционные связи являются достоверными. N – число точек по которым вычисляется корреляция.

	SM	SE	SV	M	E	V	n
U1	0,474	0,286	0,0138	0,00416	0,0108	-0,199	0,492
<i>P</i>	0	8,37E-297	0,0821	0,6	0,175	8,51E-141	0
<i>N</i>	15861	15861	15862	15862	15862	15862	15861
U2	-0,067	-0,176	0,00466	0,00222	0,00614	0,0871	-0,0548
<i>P</i>	2,97E-17	1,90E-110	0,557	0,78	0,439	4,53E-28	5,16E-12
<i>N</i>	15861	15861	15862	15862	15862	15862	15861
NE1	0,471	0,306	0,0141	0,00466	0,011	-0,207	0,488
<i>P</i>	0	0	0,0751	0,557	0,168	3,06E-153	0
<i>N</i>	15861	15861	15862	15862	15862	15862	15861
NE2	0,276	0,022	0,0188	0,00937	0,0183	-0,0505	0,303
<i>P</i>	2,70E-274	0,00566	0,0176	0,238	0,0213	1,95E-10	0
<i>N</i>	15861	15861	15862	15862	15862	15862	15861
U3	-0,0985	0,0665	-0,00765	0,000464	-0,00789	-0,00658	-0,122
<i>P</i>	1,69E-35	5,29E-17	0,335	0,953	0,321	0,407	8,57E-54
<i>N</i>	15861	15861	15862	15862	15862	15862	15861
U4	0,308	0,127	0,00377	-0,00259	0,00213	-0,106	0,32
<i>P</i>	0	1,04E-57	0,635	0,744	0,788	7,59E-41	0
<i>N</i>	15861	15861	15862	15862	15862	15862	15861
NE3	0,275	0,255	0,0027	-0,00041	0,000225	-0,154	0,276
<i>P</i>	1,29E-272	7,80E-234	0,734	0,959	0,977	4,45E-85	2,37E-274
<i>N</i>	15861	15861	15862	15862	15862	15862	15861
NE4	0,505	0,269	0,0173	0,00584	0,0143	-0,196	0,53
<i>P</i>	0	6,75E-261	0,0294	0,462	0,0708	6,84E-137	0
<i>N</i>	15861	15861	15862	15862	15862	15862	15861

Как следует из данных, приведенных в таблице 5, существует довольно сильные корреляционные связи интегральных параметров сейсмической активности - суммарной магнитуды (SM), суммарной магнитуды энергии (SE) и ежедневного числа землетрясений с магнитудой $m_b > 4$, с комбинациями астрономических параметров (10-11), которые соответствуют дипольному излучению планет-гигантов – Урана и Нептуна. Отме-

тим, что эти корреляционные связи убедительно свидетельствуют, что влияние в данном случае исходит от планет-гигантов – Урана и Нептуна, дипольное излучение которых вызывает и колебания магнитного поля Земли, и изменение параметров сейсмической активности.

Механизм этого влияния в настоящее время неизвестен, но можно предположить, что между магнитным полем Земли и магнитными полями Урана и Нептуна осуществляется обмен путем взаимной индукции. Детальный расчет этого обмена выходит за рамки настоящей работы. Общая модель явления взаимной индукции небесных тел представлена ниже.

Естественно возникает вопрос, какая же из планет – Уран или Нептун, вносит больший вклад в колебания магнитного поля Земли? На рис. 8-9 представлены фрагменты матрицы информативности модели $M_{12}(G, EOP, B_z)$, на основе которых можно оценить влияние расстояния от Земли до Урана и Нептуна соответственно на категории А, В, С сейсмической активности из таблицы 1. Сравнивая рис. 4 и 8, видим, что они как бы являются зеркальным отражением друг друга, что указывает на зависимость индукции магнитного поля Земли от параметров дипольного излучения Урана (10). С другой стороны, данные на рис. 9 никак не соотносятся с данными на рис. 4, что указывает на относительно малый (но заметный!) вклад дипольного излучения Нептуна в колебания магнитного поля Земли вблизи полюсов.

Интересно, что в отношении интегральных параметров сейсмической активности Уран и Нептун выступают вполне симметрично, как следует из данных таблицы 5. Можно предположить, что магнитное взаимодействие Земли с Ураном и Нептуном приводит не только к изменению магнитного поля, но и вызывает механическое перемещение магнитного ядра планеты.

Действительно, в таблице 6 представлены коэффициенты корреляции смещений географического полюса с параметрами дипольного излучения (10-11), которые по величине превосходят соответствующие коэффициенты корреляции с индукцией магнитного поля – см. Таблицу 2. Обнаруженные корреляционные связи являются несимметричными: смещение географического полюса вдоль меридиана $90^\circ W$ сильнее связано с дипольным излучением Урана и Нептуна, нежели смещение вдоль меридиана Гринвич (но смещение вдоль меридиана Гринвич сильнее связано с изменением гравитационного потенциала – см. Таблицу 2).

Рис. 8. Зависимость категорий сейсмической активности от расстояния до Урана

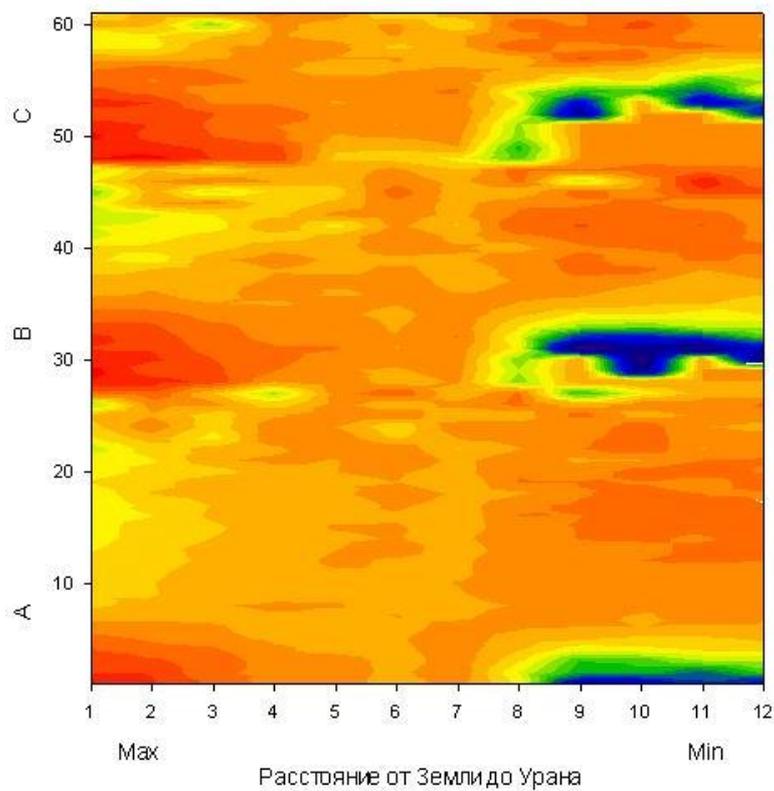


Рис. 9. Зависимость категорий сейсмической активности от расстояния до Нептуна

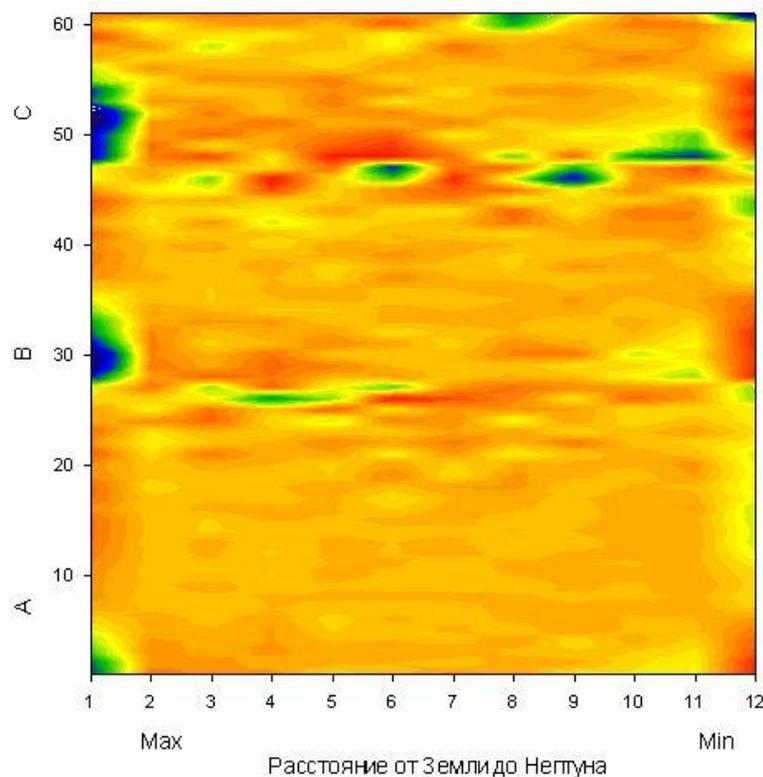
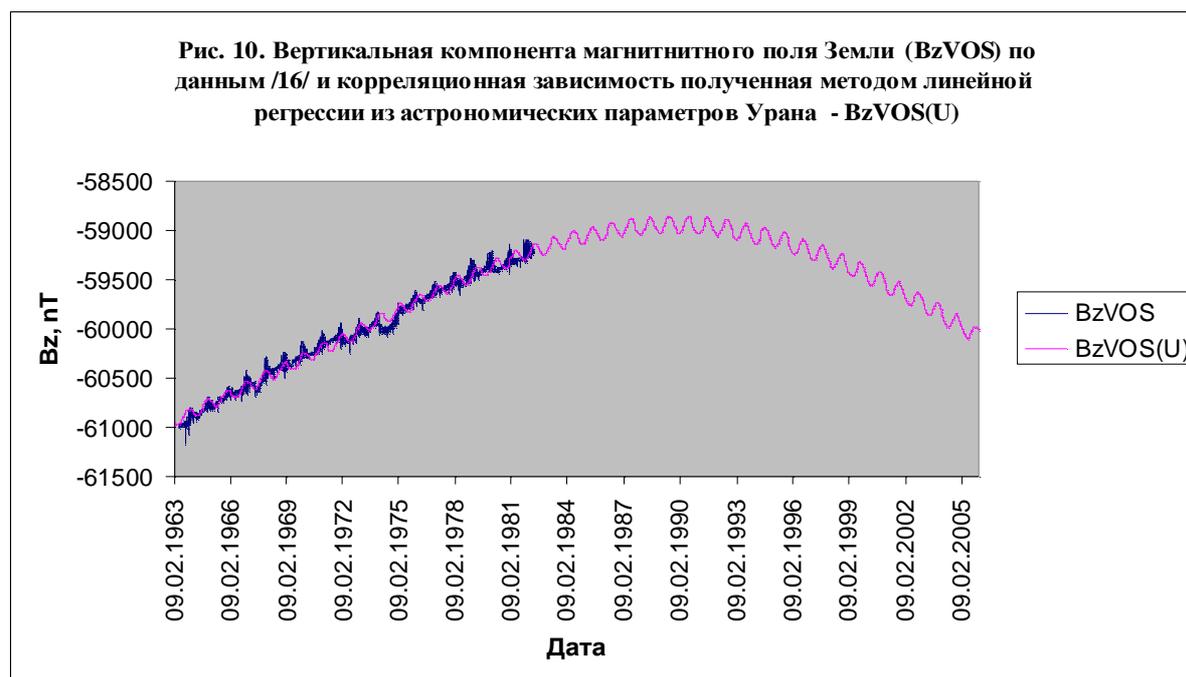


Таблица 6. Корреляционные связи параметров смещения географического полюса с параметрами дипольного излучения (10-11), полученные методом Pearson Product Moment Correlation по программе SigmaPlot: для $P < 0,05$ корреляционные связи являются достоверными.

	U1	U2	NE1	NE2	U3	U4	NE3	NE4
X_{EOP}	0,135	-0,111	0,124	-0,0299	0,103	0,0885	0,123	0,122
P	1,91E-66	2,79E-45	4,89E-56	0,000152	3,42E-39	3,03E-29	3,15E-55	1,41E-54
N	16032	16032	16032	16032	16032	16032	16032	16032
Y_{EOP}	0,345	-0,231	0,351	-0,0709	0,139	0,238	0,314	0,28
P	0	5,42E-193	0	2,61E-19	3,95E-70	1,32E-204	0	5,48E-286
N	16032	16032	16032	16032	16032	16032	16032	16032

О взаимной индукции планет

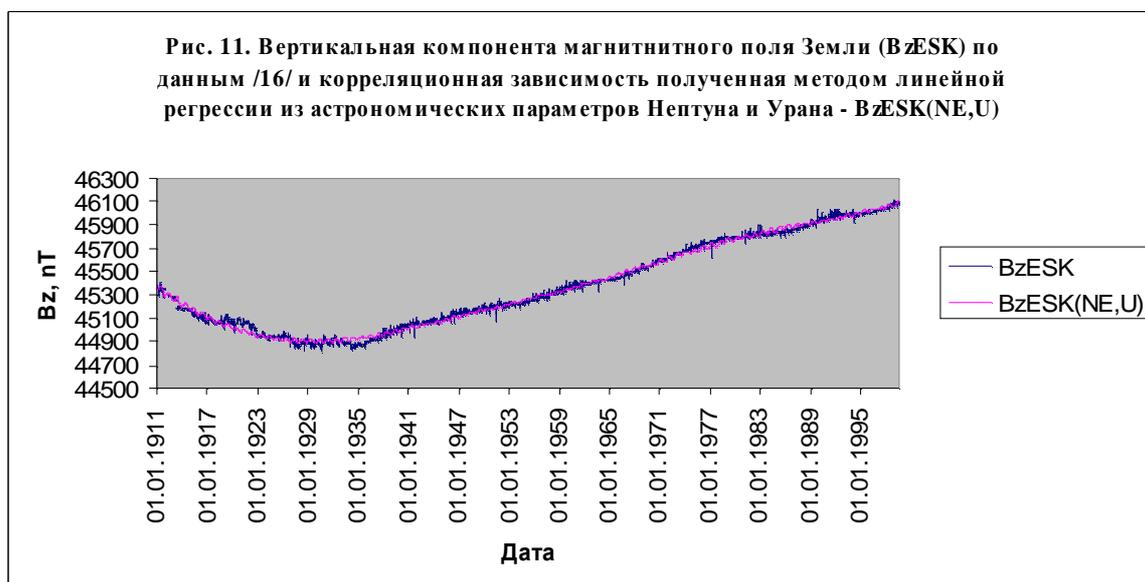
Наиболее убедительным фактом внешнего влияния на магнитное поле Земли является синхронное поведение вертикальной компоненты ветра магнитной индукции на Северном и Южном полюсе. На рис. 10 представлена зависимость вертикальной составляющей вектора магнитной индукции по данным /16/, полученным на станции Восток (IAGA Code: VOS lat:-78.45 long: 106.867) в Антарктиде, вместе с корреляционной зависимостью, приведенной в таблице 4. Сравнивая данные на рис. 5 и 10, можно видеть, что вертикальная компонента вектора магнитной индукции возрастает в 1963-1975 гг синхронно на противоположных полюсах. Но такое возможно только если к вектору магнитной индукции Земли добавляется внешний вектор с одинаковой ориентацией на противоположных полюсах.



Изменение магнитной индукции в средних широтах и на больших отрезках времени хорошо описывается комбинацией дипольных слагаемых Нептуна и Урана (10-11). На рис. 11 представлены данные /16/ по вертикальной компоненте вектора магнитной индукции, полученные на станции Eskdalemuir (IAGA Code: ESK lat: 55.317 long: 356.8) в 1911-2008 гг вместе с корреляционной зависимостью, полученной методом регрессии:

$$B_z(NE, U) = 45690,047 - 2437,382 U_1 - 3202,112 U_2 + 95491,086 U_3 - 22359,535 U_4 + 26861,362 NE_1 + 124,804 NE_2 - 583140,510 NE_3 + 50637,061 NE_4$$

$$R^2 = 0,996$$



Хотя данные на рис.11 описываются с большой степенью точности комбинацией дипольных слагаемых (10-11), степень корреляции можно еще повысить, включив в корреляционную зависимость дипольные слагаемые Сатурна. Это справедливо и для данных, приведенных на рис. 5-7. Как можно объяснить столь высокую степень корреляции данных по магнитному полю Земли с дипольным излучением планет-гигантов?

Согласно классической электродинамике магнитные поля планет образованы циркулирующими токами, контур которых имеет конечную индуктивность. Кроме индуктивности, циркулирующие токи планет могут обладать взаимной индуктивностью, что равносильно наличию у двух контуров индуктивности общего магнитного потка. Чтобы обеспечить синхронность поведения компоненты B_z на противоположных полюсах, надо предположить, что контур индуцированного тока создает собственный магнитный момент, который добавляется к магнитному моменту Земли. Дополнительный магнитный момент изменяет не только величину собственного магнитного момента Земли, но и его ориентацию в пространстве, что приводит к наблюдаемому смещению магнитного и геомагнитного полюса — таблица 7.

Таблица 7. Координаты геомагнитного и магнитного полюса по данным /16/.

Год	North geomagnetic pole		South geomagnetic pole		North magnetic pole		South magnetic pole	
	Lat.	Long.	Lat.	Long.	Lat.	Long.	Lat.	Long.
1900	78.6N	68.8W	78.6S	111.2E	70.5N	96.2W	71.7S	148.3E
1905	78.6N	68.7W	78.6S	111.3E	70.7N	96.5W	71.5S	148.6E
1910	78.6N	68.7W	78.6S	111.3E	70.8N	96.7W	71.2S	148.7E
1915	78.6N	68.6W	78.6S	111.4E	71.0N	97.0W	70.8S	148.5E
1920	78.6N	68.4W	78.6S	111.6E	71.3N	97.4W	70.4S	148.2E
1925	78.6N	68.3W	78.6S	111.7E	71.8N	98.0W	70.0S	147.6E
1930	78.5N	68.3W	78.5S	111.7E	72.3N	98.7W	69.5S	147.0E
1935	78.5N	68.4W	78.5S	111.6E	72.8N	99.3W	69.1S	145.8E
1940	78.5N	68.5W	78.5S	111.5E	73.3N	99.9W	68.6S	144.6E
1945	78.5N	68.5W	78.5S	111.5E	73.9N	100.2W	68.2S	144.5E
1950	78.5N	68.8W	78.5S	111.2E	74.6N	100.8W	67.9S	143.6E
1955	78.5N	69.2W	78.5S	110.8E	75.2N	101.4W	67.2S	141.5E
1960	78.5N	69.5W	78.5S	110.5E	75.3N	101.0W	66.7S	140.2E
1965	78.5N	69.9W	78.5S	110.1E	75.6N	101.3W	66.3S	139.5E
1970	78.6N	70.2W	78.6S	109.8E	75.9N	101.0W	66.0S	139.4E
1975	78.7N	70.5W	78.7S	109.5E	76.2N	100.7W	65.7S	139.5E
1980	78.8N	70.8W	78.8S	109.2E	76.9N	101.7W	65.4S	139.3E
1985	79.0N	70.9W	79.0S	109.1E	77.4N	102.6W	65.1S	139.1E
1990	79.1N	71.1W	79.1S	108.9E	78.1N	103.7W	64.9S	138.9E
1995	79.3N	71.4W	79.3S	108.6E	79.0N	105.2W	64.8S	138.7E
2000	79.5N	71.6W	79.5S	108.4E	81.0N	109.7W	64.7S	138.4E
2005	79.7N	71.8W	79.7S	108.2E	83.1N	117.8W	64.5S	137.8E
2006	79.8N	71.9W	79.8S	108.1E	83.8N	122.0W	64.5S	137.7E
2007	79.9N	72.0W	79.9S	108.0E	84.0N	123.2W	64.5S	137.6E
2008	79.9N	72.0W	79.9S	108.0E	84.2N	124.9W	64.5S	137.6E
2009	80.0N	72.1W	80.0S	107.9E	84.9N	131.0W	64.5S	137.5E
2010	80.0N	72.2W	80.0S	107.8E	85.0N	132.6W	64.4S	137.3E
2011	80.1N	72.3W	80.1S	107.7E	85.1N	134.0W	64.4S	137.2E
2012	80.1N	72.4W	80.1S	107.6E	85.9N	147.0W	64.4S	137.1E
2013	80.2N	72.5W	80.2S	107.5E	85.9N	148.0W	64.4S	137.0E
2014	80.2N	72.5W	80.2S	107.5E	85.9N	149.0W	64.3S	136.8E
2015	80.3N	72.6W	80.3S	107.4E	86.1N	153.0W	64.3S	136.7E

Как известно, взаимная индукция двух контуров индуктивности определяется только расстоянием между ними и геометрией проводящих элементов (см. например /26/), поэтому в случае двух планет можно предположить, что изменение магнитного момента Земли при взаимной индукции с небесными телами определяется как

$$\mathbf{M}_E(t) = \mathbf{M}_{E0} + \sum_{i=1}^P \frac{k_{Ei} D_i}{R_i^3} (\mathbf{M}_i \cdot \mathbf{R}_i) \mathbf{R}_i \quad (12)$$

Здесь k_{Ei}, D_i, R_i - безразмерный параметр взаимной индукции, диаметр планеты и расстояние от Земли до небесного тела; \mathbf{M}_{E0} – собственный магнитный момент Земли; \mathbf{M}_i – магнитный момент небесного тела.

Выражение (12) согласуется с формулами (10-11), использованными для получения корреляционных зависимостей, приведенных на рис. 5-7 и 10-11, а также в таблице 4. Заметим, что модель (12) легко обобщается с учетом влияния Солнца. В последнем случае взаимная индукция определяется, в том числе, геометрией солнечных пятен. Рассмотрим применение модели (12) к описанию взаимной индукции Земли и Урана.

Как известно, Уран вращается вокруг оси, наклоненной на $97,77^\circ$ относительно орбитальной плоскости с периодом 17 ч 14 мин 24 с /23/. Его ось вращения ориентирована в сторону звезды Сабик и проецируется на

эклиптику на $257,311^\circ$, т.е. $17,311^\circ$ знака Стрельца. Магнитное поле Урана не является чисто дипольным: ось север-юг магнитного поля отклонена на 59 градусов относительно оси вращения, а магнитный момент составляет приблизительно $M_U = 3,9 \times 10^{17} \text{ Т м}^3$, что почти в 50 раз больше магнитного момента Земли /24/.

Земля вращается вокруг оси, наклоненной на $23,439291^\circ$ относительно нормали к орбитальной плоскости с периодом $0,99726968$ дней. Ось вращения Земли ориентирована в сторону Полярной звезды и проецируется на эклиптику на 90° , т.е. на 0° знака Рака. Магнитное поле Земли похоже на поле магнитного диполя, ось которого несколько отклоняется от оси вращения, причем в последнее время наблюдается изменение как ориентации диполя, так и положения магнитных и геомагнитных (теоретических) полюсов /16/ - таблица 7. Полный магнитный момент Земли на 1995 год составлял около $M_E = 7,812 \times 10^{15} \text{ Т м}^3$. Согласно /25/, магнитный момент Земли снижается каждый год приблизительно на $4 \times 10^{12} \text{ Т м}^3$.

Взаимное движение планет по орбитам создает переменное магнитное поле, что эквивалентно некоторому переменному току в контурах индуктивности Земли и Урана. Топология магнитных силовых линий в системе Земля-Уран имеет весьма сложный вид, поскольку Уран при движении по орбите поворачивается к Земле то северным, то южным полюсом. Когда Уран находился в знаке Стрельца (1981-1987 гг), вблизи точки проекции своей полярной оси, с Земли можно было наблюдать только южный полюс Урана, поэтому в эти периоды времени взаимная индукция максимальна и магнитный момент Земли имеет максимальное значение. Когда Уран находился в знаках Девы (1962-1968 гг) или Рыб (2003-2010 гг), с Земли можно наблюдать весь магнитный момент Урана, поэтому взаимная индукция двух планет минимальна и магнитный момент Земли принимает минимальное значение, что сказывается на величине магнитного поля — см. рис. 5.

Если бы изменение магнитного момента Земли было целиком обусловлено только влиянием Урана, тогда можно было бы ожидать увеличения напряженности магнитного поля Земли в ближайшие 20 лет, поскольку Уран движется в сторону знака Близнецов, где он будет находиться 2025-2031 гг. В это время с Земли можно будет наблюдать только северный полюс планеты. Поэтому взаимная индукция Земли и Урана, согласно (12) будет максимальна. Однако влияние Нептуна несколько изменяет этот прогноз, поскольку ось вращения Нептуна направлена в сторону звезды BS7638 и проецируется приблизительно на $318,51^\circ$ эклиптики - $18,51^\circ$ знака Водолея. Следовательно, в настоящее время взаимная индукция Земли и Нептуна максимальна (а Урана и Земли — минимальна).

Наконец заметим, что модель (12) позволяет объяснить наблюдаемый сдвиг магнитных полюсов (см. таблицу 7), не привлекая гипотезу об инверсии магнитного поля земли.

Выводы

Установлено, что добавление в информационную модель глобальной сейсмической активности /1-3/ параметров магнитной индукции и смещения географического полюса позволяет повысить достоверность распознавания сейсмических событий.

Обнаружена взаимосвязь смещений географического полюса Земли с изменением гравитационного потенциала Солнечной системы и с параметрами дипольного излучения Урана и Нептуна.

Установлена высокая степень корреляции колебаний магнитного поля Земли вблизи магнитных полюсов с дипольным излучением Урана, что позволило создать достоверную модель изменения магнитного поля Земли на трех станциях - Alert (IAGA Code: ALE; lat: 82.5; long: 297.65), Vostok (IAGA Code: VOS lat:-78.45 long: 106.867), Resolute Bay (IAGA Code: RES; lat: 74.69; long: 265.105), расположенных вблизи магнитных полюсов. В этой связи отметим, что стандартная модель магнитного поля Земли IGRF 10 /16/ вообще не согласуется с экспериментальными данными, представленными на рис. 5-7, что обусловлено большим различием в настоящем (фактическом) положении магнитного полюса и его теоретической модели – геомагнитного полюса.

Установлена высокая степень корреляции колебаний магнитного поля Земли в средних широтах с дипольным излучением Урана и Нептуна, что позволило создать достоверную модель изменения магнитного поля на станции Eskdalemuir (IAGA Code: ESK lat: 55.317 long: 356.8) в 1911-2008 гг. - рис. 11.

На основе исследования семантических информационных моделей глобальной сейсмической активности установлено, что индукция магнитного поля Земли и интегральные параметры сейсмической активности зависят от комбинаций астрономических параметров Урана и Нептуна, которые соответствуют дипольному излучению этих планет. Это дает основание предположить, что существует электромагнитный механизм, запускающий землетрясения.

Отметим также, что использование в качестве *инструмента* систем искусственного интеллекта открывает новые возможности научного исследования в астрономии и геофизике, в том числе позволяет выявлять новые знания из общедоступных официальных баз данных. При этом на конкретном содержательном уровне подтверждается, что Земля является одним из элементов космической системы и некоторые процессы на ней сложно понять, если рассматривать ее изолированно от космического окружения, неоправданно абстрагируясь от ее взаимодействия с другими элементами и с системой в целом.

Литература¹

1. Трунев А.П. Прогнозирование землетрясений по астрономическим данным с использованием системы искусственного интеллекта / А.П. Трунев, Е.В. Луценко // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2009. – №08(52). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2009/08/pdf/13.pdf>
2. A. Trunev, E. Lutsenko. Earthquake forecast on astronomical data // Chaos and Correlation, October 27, 2009, http://trunev.com/Chaos/LT_10_2009.pdf
3. Трунев А.П. Прогнозирование сейсмической активности и климата на основе семантических информационных моделей / А.П. Трунев, Е.В. Луценко // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2009. – №09(53). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2009/09/pdf/09.pdf>
4. Трунев А.П. Системно-когнитивный анализ и прогнозирование сейсмической активности литосферы Земли, как глобальной активной геосистемы / А.П. Трунев, Е.В. Луценко // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – №01(55). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2010/01/pdf/22.pdf>
5. Трунев А.П. Распределение случайных событий в поле центральных сил / А.П. Трунев // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2009. – №05(49). – Шифр Информрегистра: 0420900012\0046. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2009/05/pdf/03.pdf>
6. Трунев А. П., Луценко Е. В. Астросоциотипология: Монография (научное издание). – Краснодар: КубГАУ, 2008, – 279 с.
7. Луценко Е.В. Астросоциотипология и спектральный анализ личности по астросоциотипам с применением семантических информационных мультимodelей / Е.В. Луценко, А.П. Трунев // 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>
8. Patent 2008610097, Russia, System for Typification and Identification of the Social Status of Respondents Based on the Astronomical Data at the Time of Birth - "AIDOS-ASTRO" / E.V. Lutsenko, A.P. Trunev, V.N. Shashin; Application № 2007613722, January 9, 2008.
9. 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.
10. Operative Seismological Catalogue// Central Experimental-Methodical Expedition (Obninsk), http://www.wdcb.ru/sep/seismology/cat_OBN.ru.html
11. International Seismological Center, <http://www.isc.ac.uk/>
12. Левин Б.В., Павлов В.П. Влияние астрономических факторов на вариации плотности энергии в твердой оболочке Земли // Изв. РАН. Физика Земли. 2003. № 3. С. 71–76.
13. Б.В.Левин. О природе некоторых периодических изменений в сейсмическом режиме Земли//Вестник ДВО РАН. 2006. № 1
14. Широков В.А. Разработка моделей подготовки сильных землетрясений и вулканических извержений на основе изучения их связи с космическими ритмами // Материалы Всероссийской научной конференции 100-летие Камчатской экспедиции Русского географического общества 1908-1910 гг. Петропавловск-Камчатский, 2009 http://www.kscnet.ru/ivs/slsecret/konf_r/sbornik/pdf26.pdf
15. Earth orientation centre / <http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/>

¹ Для удобства читателей некоторые из этих работ размещены на сайте: <http://lc.kubagro.ru/>

16. World Data Centre for Geomagnetism (Edinburgh)/
<http://www.wdc.bgs.ac.uk/catalog/master.html>
17. 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.
18. Гальпер А.М. Землетрясения: Прогноз из Космоса? // Наука в России. 1994. Вып. 1. С. 39.
19. Булгаков Н.А. О магнитных возмущениях последнего времени и о зависимости магнитных возмущений от землетрясения, солнечных пятен и северных сияний // Зап. по гидрографии. Т. 29. 1908. С.302–311.
20. Булгаков Н.А. Влияние Луны на суточные вариации земного магнетизма // Зап. по гидрографии. 1915. Т. 39, вып. 1. С.4–19.
21. Воробьев А.А. Физические условия залегания и свойства глубинного вещества. (Высокие электрические поля в земных недрах). - Томск: Изд-во ТГУ. 1975. 296с.
22. Тарасенко Г.В. подземные грозы и их роль в образовании нефти / <http://www.sciteclibrary.ru/cgi-bin/yabb2/YaBB.pl?num=1225514672/0#0>
23. Seidelmann, P. Kenneth; Archinal, B. A.; A’hearn, M. F.; et al. (2007). "Report of the IAU/IAGWorking Group on cartographic coordinates and rotational elements: 2006". Celestial Mech. Dyn. Astr. 90: 155–180. DOI:10.1007/s10569-007-9072-y
24. C. T. Russell and J. G. Luhmann. Uranus: magnetic field and magnetosphere / Encyclopedia of Planetary Sciences, edited by J. H. Shirley and R. W. Fainbridge, 863-864, Chapman and Hall, New York, 1997. http://www-ssc.igpp.ucla.edu/personnel/russell/papers/ura_mag.html
25. Кононович Э. Магнитное поле земли.
http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/fizika/MAGNITNOE_POLE_ZEMLI.html
26. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Том 6: Электродинамика. Перевод с английского (издание 3). – Эдиториал УРСС. – ISBN 5-354-00704-6

Приложение

Корреляционные связи* координат географического полюса по данным /15/ и магнитной индукции по измерениям на трех станциях /16/ с координатами небесных тел: Alert (IAGA Code: ALE; lat: 82.5; long: 297.65), Vostok (IAGA Code: VOS lat:-78.45 long: 106.867), Resolute Bay (IAGA Code: RES; lat: 74.69; long: 265.105)

	BzALE	BzVOS	BzRES	BxRES	ByRES	X_{ЕОР}	У_{ЕОР}
SUNLON	0,0948	0,0347	0,0514	-0,014	-0,0145	-0,0769	-0,325
<i>P</i>	1,95E-08	0,00486	7,16E-11	0,0762	0,067	1,75E-22	0
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
SUNLAT	-0,117	-0,052	-0,0672	0,0129	0,0204	0,093	0,395
<i>P</i>	4,12E-12	0,0000243	1,70E-17	0,101	0,0101	3,67E-32	0
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
SUNDIST	-0,107	-0,0539	-0,0703	0,0159	0,0161	0,212	0,384
<i>P</i>	1,96E-10	0,000012	4,99E-19	0,0441	0,0416	1,50E-161	0
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
MOONLON	-0,0000556	-0,0153	0,00564	-0,00809	0,00477	-0,00174	-0,000344

<i>P</i>	0,997	0,216	0,475	0,306	0,547	0,826	0,965
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
MOONLAT	-0,0483	-0,000536	-0,00965	0,00478	-0,000313	0,00494	0,0196
<i>P</i>	0,00427	0,965	0,222	0,545	0,968	0,532	0,0133
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
MOONDIST	0,0093	-0,00316	0,0103	-0,00398	-0,00355	-0,00103	-0,00205
<i>P</i>	0,582	0,798	0,194	0,614	0,654	0,897	0,795
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
MERCURYLON	0,0663	0,0597	0,0598	-0,0161	-0,00634	-0,0176	-0,307
<i>P</i>	0,0000857	0,00000124	3,68E-14	0,041	0,424	0,0258	0
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
MERCURLAT	0,0157	0,00974	0,0104	-0,00163	-0,00139	-0,0754	-0,049
<i>P</i>	0,352	0,429	0,189	0,836	0,861	1,15E-21	5,53E-10
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
MERCURYDIS	0,00316	0,00559	0,0153	-0,00404	-0,00592	0,00141	-0,11
<i>P</i>	0,852	0,65	0,0528	0,609	0,455	0,859	3,29E-44
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
VENUSLON	0,024	0,0529	0,0388	-0,00925	-0,0189	-0,0456	-0,282
<i>P</i>	0,156	0,0000173	8,65E-07	0,242	0,0172	7,48E-09	5,28E-290
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
VENUSLAT	-0,0199	0,0077	0,00504	0,00546	-0,00865	-0,152	-0,00226
<i>P</i>	0,238	0,532	0,523	0,49	0,275	2,37E-83	0,775
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
VENUSDIST	-0,0952	-0,0491	-0,0041	-0,0017	-0,0139	-0,016	-0,0283
<i>P</i>	1,66E-08	0,0000662	0,604	0,829	0,0795	0,0423	0,000343
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
MARSLON	0,116	-0,0833	-0,00527	-0,0000542	-0,0332	-0,00171	-0,135
<i>P</i>	5,65E-12	1,26E-11	0,505	0,995	0,0000281	0,828	1,31E-65
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
MARSLAT	-0,279	0,0978	0,0307	-0,0521	0,0315	-0,131	-0,0572
<i>P</i>	1,29E-63	1,74E-15	0,000103	4,27E-11	0,00007	1,36E-62	4,24E-13
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
MARSDIST	-0,0798	-0,0335	-0,00558	-0,00809	-0,00161	0,0227	-0,00678
<i>P</i>	0,00000229	0,00661	0,48	0,306	0,839	0,00398	0,391
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
JUPITERLON	0,829	0,192	0,0721	0,0485	0,052	0,0234	0,063
<i>P</i>	0	7,03E-56	6,29E-20	8E-10	5,08E-11	0,00301	1,36E-15
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
JUPITERLAT	0,712	0,246	-0,0696	0,138	-0,133	0,00718	0,0575
<i>P</i>	0	2,02E-91	1,15E-18	1,59E-68	5,08E-64	0,364	3,22E-13
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
JUPITERDIS	0,094	0,0968	-0,0345	0,0397	-0,0405	0,00919	0,0403
<i>P</i>	2,54E-08	3,36E-15	0,0000128	0,00000051	3,09E-07	0,245	0,00000033
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
SATURNLON	-0,741	-0,295	0,0225	-0,187	0,0444	-0,0105	-0,00187

<i>P</i>	0	8,66E-133	0,0044	1,50E-126	2,06E-08	0,185	0,813
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
SATURNLAT	-0,466	0,861	0,552	-0,073	0,23	0,0329	0,0571
<i>P</i>	5,10E-188	0	0	2,05E-20	1,60E-189	0,0000315	4,61E-13
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
SATURNDIST	-0,334	-0,113	0,00839	-0,0846	0,0357	-0,0632	0,0872
<i>P</i>	9,49E-92	2,47E-20	0,288	6,90E-27	0,00000652	1,16E-15	1,86E-28
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
URANUSLON	0,96	0,993	-0,59	0,956	-0,768	0,13	0,348
<i>P</i>	0	0	0	0	0	3,87E-61	0
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
URANUSLAT	-0,716	-0,939	0,66	-0,948	0,802	-0,15	-0,353
<i>P</i>	0	0	0	0	0	7,48E-82	0
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
URANUSDIST	0,0132	0,21	-0,44	0,633	-0,57	0,143	0,0724
<i>P</i>	0,436	2,95E-66	0	0	0	4,20E-74	4,46E-20
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
NEPTUNELON	0,944	0,99	-0,613	0,965	-0,786	0,118	0,353
<i>P</i>	0	0	0	0	0	7,89E-51	0
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
NEPTUNELAT	-0,763	-0,942	0,726	-0,989	0,875	-0,13	-0,319
<i>P</i>	0	0	0	0	0	1,30E-61	0
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
NEPTUNEDIS	0,105	0,00149	0,16	-0,141	0,0986	-0,0875	-0,399
<i>P</i>	5,64E-10	0,904	1,51E-92	1,16E-71	1,08E-35	1,23E-28	0
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
PLUTOLON	0,959	0,991	-0,623	0,965	-0,794	0,126	0,338
<i>P</i>	0	0	0	0	0	1,25E-57	0
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
PLUTOLAT	0,886	0,911	0,878	-0,835	0,926	-0,105	-0,18
<i>P</i>	0	0	0	0	0	2,54E-40	1,24E-116
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
PLUTODIST	-0,606	-0,795	-0,0444	-0,355	0,0706	0,0792	-0,347
<i>P</i>	0	0	1,93E-08	0	4,40E-19	9,86E-24	0
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
NODELON	0,658	0,299	0,214	-0,187	0,346	0,00778	-0,0177
<i>P</i>	0	1,86E-136	5,87E-165	1,57E-126	0	0,324	0,025
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032
NODEDIST	0,0136	0,14	0,0435	0,0232	0,0221	0,0185	0,000237
<i>P</i>	0,422	3,02E-30	3,69E-08	0,00325	0,00537	0,0192	0,976
<i>N</i>	3500	6589	16032	16032	15931	16032	16032

* Корреляционные связи параметров получены методом Pearson Product Moment Correlation по программе SigmaPlot: для $P < 0,05$ корреляционные связи являются достоверными. *N* – число точек по которым вычисляются коэффициенты корреляции. LON – longitude, LAT – latitude, DIST – distance.