

УДК 303.732.4

UDC 303.732.4

**СИСТЕМО-КОГНИТИВНЫЙ АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЛИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ, КАК ГЛОБАЛЬНОЙ АКТИВНОЙ ГЕОСИСТЕМЫ**

**SYSTEMIC-COGNITIVE ANALYSIS AND FORECASTING OF SEISMIC ACTIVITY OF THE LITHOSPHERE OF THE EARTH, AS THE GLOBAL ACTIVE GEOSYSTEM**

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

Lutsenko Evgeny Veniaminovich  
Dr. Sci. Econ., Cand. Tech. Sci., Professor

*Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия*

*Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia*

На основе семантических информационных моделей исследована зависимость параметров сейсмической активности от положения небесных тел

Dependence of seismic activity parameters on celestial bodies' positions is examined on the basis of semantic information models

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

Keywords: ASTROSOCIOTYPOLOGY, COMPUTATIONAL EXPERIMENT, SEMANTIC INFORMATION MODELS, EARTHQUAKE FORECAST

**Введение**

К глобальным активным геосистемам относятся *ноосфера, биосфера, атмосфера, гидросфера и литосфера*<sup>1</sup>. Поведение любого объекта определяется действующими на него внутренними и внешними факторами. Внутренние факторы отражают текущее состояние объекта и предысторию его развития. Внешние факторы можно разделить на зависящие от нашей воли, которые можно рассматривать как управляющие факторы, и независящие от нее, т.е. факторы (влияния) окружающей среды. Для глобальных систем управляющие факторы, по сути, отсутствуют или неизвестны, а факторами окружающей среды, очевидно, являются *космические факторы*, т.к. *именно космос представляет собой окружающую среду для Земли и глобальных активных геосистем*.

Активным называется объект, имеющий внутренний источник само-движения (энергии), систему моделирования себя и окружающей среды,

<sup>1</sup> См.: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Литосфера>

включая внешние управляющие системы, а также собственную систему поддержки принятия решений, т.е. ведущий себя так, как будто он стремится к собственной определенной цели [9]. «Классическими» активными объектами являются системы с участием *людей*: экономические, социально-психологические, технологические и организационно-технические, а также биологические и экологические системы (включая искусственные экосистемы). Однако и поведение объектов так называемой «неживой» природы, поддается блестящему теоретическому описанию на основе представления о том, что они стремятся к некоторой «объективной цели» [25]. Это позволяет расширить представление об активных объектах на все объекты и считать представление об *абсолютно пассивном объекте чистой абстракцией*, которой в реальности ничего не соответствует, если не считать Кантовской «вещи в себе». Дело в том, что абсолютно пассивный объект не смог бы взаимодействовать ни с какими объектами [26].

Тем ни менее вполне оправдано говорить о *степени активности объектов* и о существовании конструкта, спектра или иерархии объектов по степени их активности: от объектов с очень высокой активностью до объектов с очень низкой активностью. По мнению авторов [27], *активность объекта (системы) однозначно определяется его уровнем системности*, т.е. степенью отличия свойств системы от суммы свойств ее элементов. С этой точки зрения спектр систем по их активности выглядит следующим образом: механические, химические, биологические, социально-экономические системы. Между тем уровень системности в свою очередь обуславливается интенсивностью взаимосвязей между элементами системы и сложностью ее внутренней организации [9], а значит и ее *массштабами*. Это значит, что *чем больше и сложнее система, состоящая из элементов определенной активности, чем больше она включает элементов, тем сложнее могут быть взаимосвязи между ними и тем выше общий уровень системности и активности системы в целом*. С другой сто-

роны если системы состоят из одинакового количества элементов, но эти элементы обладают разной сложностью, то и системы будут отличаться по своей сложности. Это значит, что большие и сложные системы, состоящие из очень большого количества относительно простых элементов, могут иметь такой же общий уровень системности, как системы сравнительно небольшого размера, имеющие очень сложную внутреннюю организацию и состоящие из очень сложных элементов.

Поэтому вполне оправданно ввести новое научное понятие *удельного уровня системности (или удельной системности)*, под которым авторы предлагают понимать уровень системности на единицу массы системы.

По удельной системности человек, по-видимому, имеет наивысший уровень системности из известных систем, и, например, намного превосходит, отдельно взятое дерево. Однако по общему уровню системности лесной массив, как экосистема, может быть сопоставимым с человеком или даже превосходить его, вплоть до проявления в системе реагирования элементов, которые мы бы могли квалифицировать как проявления психики. Отдельный вирус несопоставимо ниже человека по уровню системности, однако, по последним данным эпидемия в целом ведет себя по отношению к людям, изобретающим все новые средства борьбы с ней, как армия, под руководством опытного полководца, осаждающая крепости-города. Авторы предлагают гипотезу, согласно которой, не смотря на то, что удельная системность литосферы на многие порядки ниже удельной системности биосферы, не говоря уже о ноосфере (социально-экономических системах), однако, учитывая огромную массу и масштабы литосферы можно предположить, что ее суммарный уровень системности сопоставим с биосферой и даже с ноосферой.

*Поведение* простых объектов с низким уровнем системности и активности практически полностью определяется внешними факторами. Поведение же активных объектов практически полностью определяется внут-

ренными факторами, т.е. их внутренней организацией, текущим состоянием и предысторией. Внешние факторы также оказывают влияние на поведение активного объекта, но не непосредственно, а опосредованно его внутренней организацией. При этом *реагирование активной системы на внешние воздействия осуществляется таким образом, что основную роль играет не мощность или суммарные затраты энергии этих внешних воздействий (как в простых системах), а внутренняя организация этих воздействий, точнее – их информационная составляющая*. Конечно, активные системы имеют иерархическое строение и обычно включают некую базовую структуру, имеющую относительно низкий уровень системности. Например, автомобиль в заглушенном состоянии можно рассматривать как систему с низким уровнем системности, и, поэтому, для его транспортировки на стоянку в этом состоянии необходим эвакуатор, однако если автомобиль завести, то практически без затрат энергии на управляющие воздействия можно легко переместить его в ту же точку и даже отбуксировать туда сам эвакуатор.

Развитие активных систем происходит путем чередования периодов эргодичности и точек бифуркации. На периодах эргодичности законы поведения объекта практически не изменяются и накапливаются количественные изменения, которые, в конце концов, приводят к его скачкообразному качественному изменению и переходу в новый период эргодичности [9]. Для активных систем точки бифуркации, по сути, представляют собой точки принятия решений, определяющих эволюцию системы на следующем периоде эргодичности. *При этом сами моменты времени, в которые осуществляются переходы активной системы в точки бифуркации могут определяться низкоэнергетическими, по существу информационными внешними воздействиями, эффект влияния которых абсолютно не сопоставим с их мощностью и общей затраченной энергией.*

В ряде работ<sup>2</sup> авторы исследовали влияние космической среды на некоторые подсистемы ноосферы: социальный *выбор* людей [5] и их *решения* на фондовом рынке. Данная работа входит в цикл статей, посвященных исследованию литосфера, как глобальной активной системы, для которой переход в точки бифуркации означает *скачкообразное* изменение внутренней структуры, внешне проявляющееся как сейсмическая активность (землетрясения).

В работах /1-3/ была разработана модель прогнозирования землетрясений по астрономическим данным, опирающаяся на теорию и модели астросоциотипологии /4-7/. 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 настоящей работе представлены результаты прогнозирования параметров сейсмической активности по астрономическим данным на основе семантических информационных моделей с использованием всемирной базы землетрясений /11/, исследована совокупность 128320 событий землетрясений с магнитудой  $mb \geq 4$ , произошедших на нашей планете в период

---

<sup>2</sup> См.: <http://ej.kubagro.ru/a/viewaut.asp?id=495>

с 9 февраля 1963 года по 31 декабря 2006 г (всего 16032 дня). Полученные результаты находятся в согласии с данными /1-3/, что позволяет расширить область применения развитых в этих работах моделей.

### **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 климатологии событием будем называть любое измерение климатических параметров – температуры, осадков, скорости ветра и т.п., по результатам которых формируются категории климатических параметров. 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. Будем считать, что заданы частотные распределения  $N_i$  – число событий, имеющих отношение к данной категории  $C_i$ .

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

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

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

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/

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

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

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

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

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

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

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

С другой стороны, процесс идентификации, распознавания и прогнозирования может рассматриваться как разложение вектора распознаваемого объекта в ряд по векторам категорий (классов распознавания) /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;

$F_{il}$  – 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

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

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 /4/. 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.

Из исходной базы 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. Из астрономических параметров и категорий сейсмической активности была создана база данных, содержащая 16032 записи с обобщенной информацией о *ежедневной* сейсмической 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/. Аналогичные результаты были получены и в случае исследуемой со-

вокупности 128320 сейсмических событий, отобранных из базы данных /11/ по критерию  $mb > 4$ . Отметим, что исследованные БД, сформированные по данным /10/ и /11/ существенно различаются как по числу событий (65541 и 128320 соответственно), так и по интервалу времени их реализации (5082 и 16032 дня соответственно).

### Параметр сходства категорий магнитуды

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 сопоставляется несколько типов категорий, а именно:

А – событие с магнитудой  $mb$  повторяется один раз;

В – событие с магнитудой  $mb$  повторяется два раза;

С – событие с магнитудой  $mb$  повторяется три раза.

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

Определим среднюю магнитуду ежедневных событий в виде:

$$M_a = \frac{1}{n} \sum_i mb_i \quad (7)$$

Здесь  $n$  – число ежедневных событий. Отметим, что магнитуда  $mb$  рассчитывается по максимальной скорости смещения в короткопериодных объемных волнах по формулам /11/:

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

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),  $\Delta$  – эпицентрального расстояние в градусах,  $21^\circ \leq \Delta \leq 100^\circ$ ,  $H$  – глубина очага.

Таблица 1. Параметр сходства категории магнитуда в трех моделях

Категория	M12	M60	M160	Число случаев
SC:A40-Mb=4,0	-18,645	-17,718	-14,543	1362
SC:A41-Mb=4,1	-22,916	-12,889	-7,703	1580
SC:A42-Mb=4,2	-17,617	-13,679	-5,874	1796
SC:A43-Mb=4,3	-8,763	0,169	5,257	2224
SC:A44-Mb=4,4	-28,171	-29,273	-6,789	2744
SC:A45-Mb=4,5	3,790	-14,328	-2,657	3358
SC:A46-Mb=4,6	20,900	2,565	5,996	4119
SC:A47-Mb=4,7	39,484	13,454	7,019	4768
SC:A48-Mb=4,8	28,408	13,262	10,024	4954
SC:A49-Mb=4,9	43,895	25,348	17,167	5008
SC:A50-Mb=5	46,332	32,051	23,112	4904
SC:A51-Mb=5,1	43,111	42,708	29,482	4582
SC:A52-Mb=5,2	40,011	34,899	26,342	4134
SC:A53-Mb=5,3	42,942	48,017	31,181	3563
SC:A54-Mb=5,4	50,842	44,806	29,391	3010
SC:A55-Mb=5,5	45,132	42,487	29,667	2367
SC:A56-Mb=5,6	49,463	51,507	33,892	1940
SC:A57-Mb=5,7	54,546	53,187	36,704	1460
SC:A58-Mb=5,8	46,835	43,283	31,282	1179
SC:A59-Mb=5,9	46,949	37,433	28,150	864
SC:A60-Mb=6,0	38,112	35,960	28,131	656
SC:A61-Mb=6,1	51,948	46,844	35,117	453
SC:A62-Mb=6,2	18,356	30,766	25,179	319
SC:A63-Mb=6,3	39,993	43,459	44,459	202
SC:A64-Mb=6,4	35,076	39,972	46,195	137
SC:A65-Mb=6,5	41,575	48,548	58,413	87
SC:A66-Mb=6,6-7,0	24,572	44,561	64,549	68
SC:B40-Mb=4,0	3,238	26,482	27,545	446
SC:B41-Mb=4,1	-16,761	-8,606	4,534	660
SC:B42-Mb=4,2	-2,641	-10,099	1,097	835
SC:B43-Mb=4,3	-24,940	-36,007	-20,915	955
SC:B44-Mb=4,4	-19,278	-18,572	-10,029	1099
SC:B45-Mb=4,5	-27,600	-16,025	-5,392	1223
SC:B46-Mb=4,6	-37,301	-26,465	-5,463	1455
SC:B47-Mb=4,7	-54,429	-28,247	-4,877	1612
SC:B48-Mb=4,8	-39,839	-25,311	-1,564	1817
SC:B49-Mb=4,9	-20,898	-18,403	0,840	1636
SC:B50-Mb=5	17,207	7,494	9,294	1428
SC:B51-Mb=5,1	12,708	14,084	13,464	1206
SC:B52-Mb=5,2	36,838	33,745	24,356	936
SC:B53-Mb=5,3	42,487	38,522	26,413	617
SC:B54-Mb=5,4	19,274	22,367	23,406	422
SC:B55-Mb=5,5	35,939	40,120	34,838	261
SC:B56-Mb=5,6	26,795	30,797	31,723	180
SC:B57-Mb=5,7	37,705	45,247	57,825	93
SC:B58-Mb=5,8	33,556	49,648	63,011	73
SC:B59-Mb=5,9-6,4	35,260	53,885	65,006	69
SC:C40-Mb=4,0	35,203	47,253	49,768	130
SC:C41-Mb=4,1	21,147	37,018	35,416	259
SC:C42-Mb=4,2	-7,800	11,979	17,220	362
SC:C43-Mb=4,3	-7,354	6,156	14,811	436

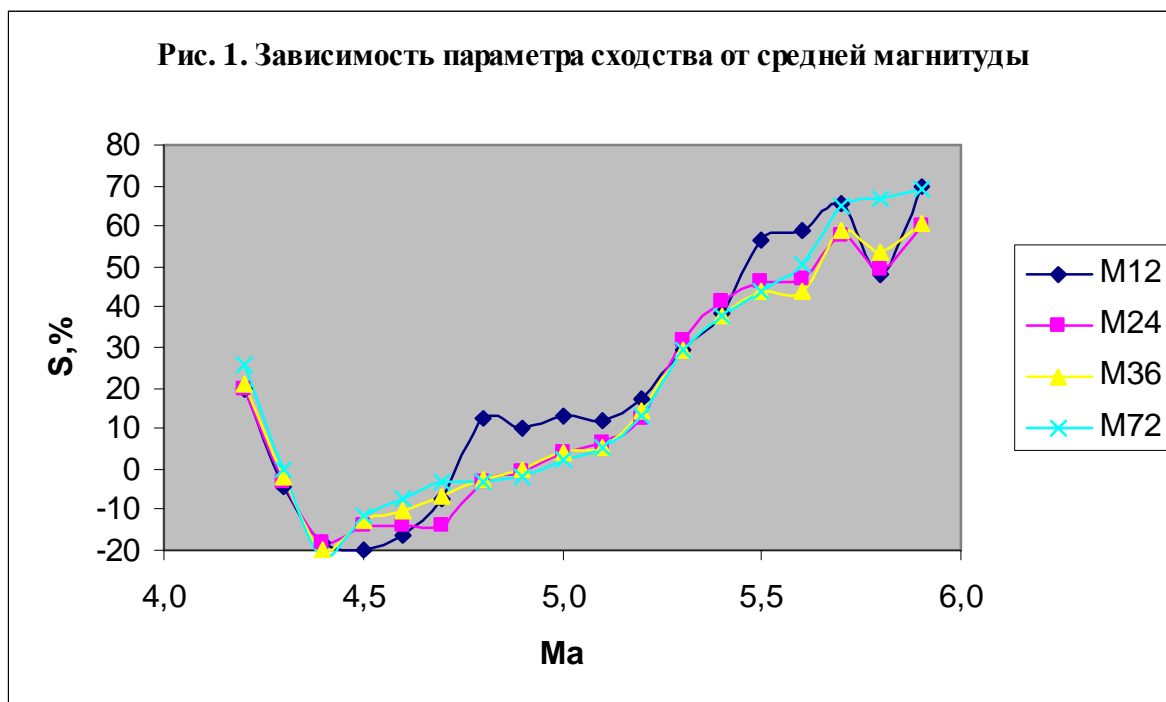
SC:C44-Mb=4,4	-3,149	-2,670	10,142	482
SC:C45-Mb=4,5	-10,944	-16,065	-1,734	468
SC:C46-Mb=4,6	-23,303	-5,223	6,164	515
SC:C47-Mb=4,7	-37,997	-10,425	3,659	501
SC:C48-Mb=4,8	-32,301	0,375	9,615	450
SC:C49-Mb=4,9	-15,689	8,794	11,992	447
SC:C50-Mb=5	0,790	16,317	20,876	356
SC:C51-Mb=5,1	-0,442	19,160	20,863	293
SC:C52-Mb=5,2	20,407	29,572	34,016	166
SC:C53-Mb=5,3-6,0	26,412	34,451	48,087	105

На рис. 1 и в таблице 2 представлен параметр сходства для категорий параметра сейсмической активности  $M_a$  в 4 семантических информационных моделях M12, M24, M36 и M72. Параметр средней магнитуды представляет особый интерес, поскольку, как было установлено [3], он с достоверностью  $R^2=0.9133$  связан с ежедневным изменением гравитационного потенциала Солнечной системы в окрестностях Земли.

Отметим, что дни с большим ( $M_a > 4,8$ ) или малым ( $M_a < 4,2$ ) значением средней магнитуды распознаются лучше, нежели со средним значением (таблица 2 и рисунок 1).

Таблица 2. Параметр сходства средней магнитуды в 4-х моделях

Категории сейсмической активности	$M_a$	M12	M24	M36	M72	Число случаев
1	<4	78,590	67,976	62,621	63,882	198
2	4,0-4,2	19,951	19,826	20,812	25,768	162
3	4,30	-4,403	-3,354	-2,001	-0,065	419
4	4,40	-18,255	-18,110	-19,947	-21,992	976
5	4,50	-20,077	-14,069	-12,985	-11,692	1313
6	4,60	-16,477	-14,057	-10,571	-7,356	1204
7	4,70	-7,601	-14,119	-6,729	-3,306	1180
8	4,80	12,552	-3,130	-2,762	-3,069	1713
9	4,90	9,900	-0,780	-0,102	-1,746	2317
10	5,00	12,920	4,356	4,321	2,246	2360
11	5,10	11,986	6,577	5,470	5,117	1831
12	5,20	17,283	12,770	14,051	12,924	1150
13	5,30	29,206	31,593	29,519	29,262	596
14	5,40	38,451	41,314	38,004	37,867	276
15	5,50	56,575	46,446	43,646	43,823	145
16	5,60	59,094	46,589	44,102	50,332	79
17	5,70	65,799	57,741	58,914	65,128	49
18	5,80	47,868	49,268	53,657	66,910	26
19	5,9-6,6	69,869	60,323	60,671	69,324	38

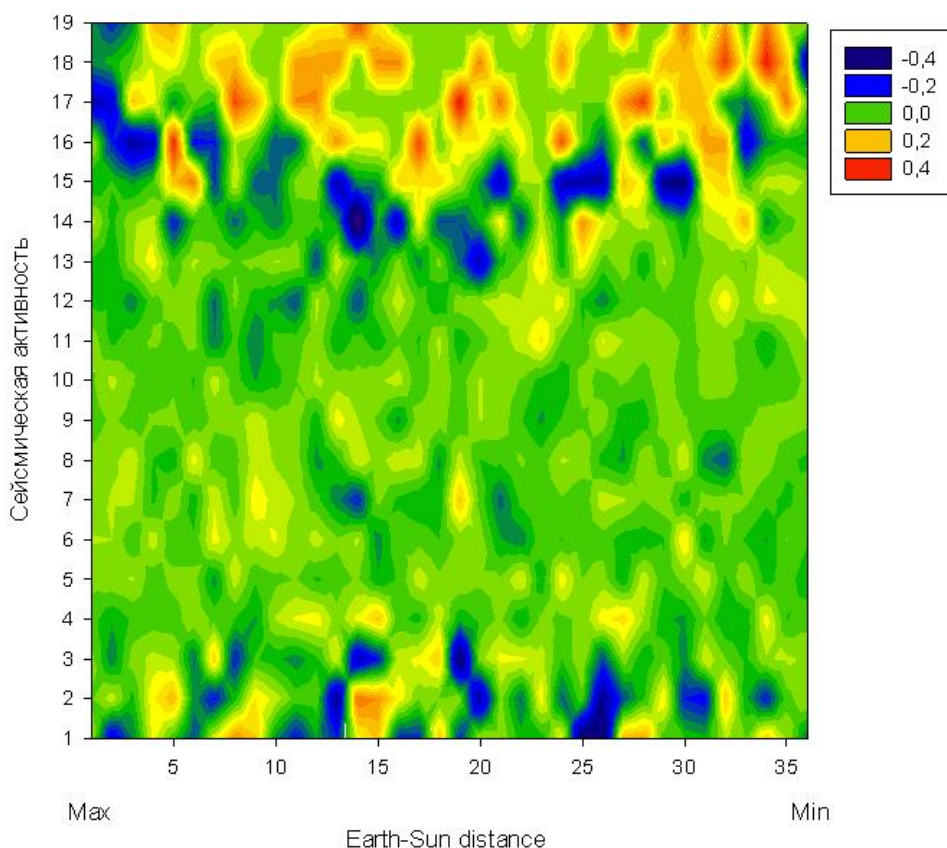


Ранее было показано /3/, что матрица информативности (2) может быть использована для выявления и визуализации *когнитивных функциональных зависимостей* в фрагментированных и зашумленных данных большой размерности в задачах прогнозирования климата и сейсмической активности. Кратко поясним суть этого метода. 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 представлен фрагмент матрицы информативности модели М36, позволяющий оценить степень влияния расстояния от Земли до Солнца на категории сейсмической активности из таблицы 1. Можно видеть, что категории соответствующие высокой сейсмической активности более информативны, т.е. обнаруживают связь с расстоянием до Солнца. Заметим, что изменение гравитационного потенциала Солнечной системы на поверхности нашей планеты связано, главным образом, с изменением расстояния от Земли до Солнца. Таким образом, полученные результаты подтверждают установленную в работе /3/ взаимосвязь средней магнитуды и ежедневного изменения гравитационного потенциала Солнечной системы в окрестностях Земли.

Рис. 2. Зависимость категорий сейсмической активности от расстояния до Солнца

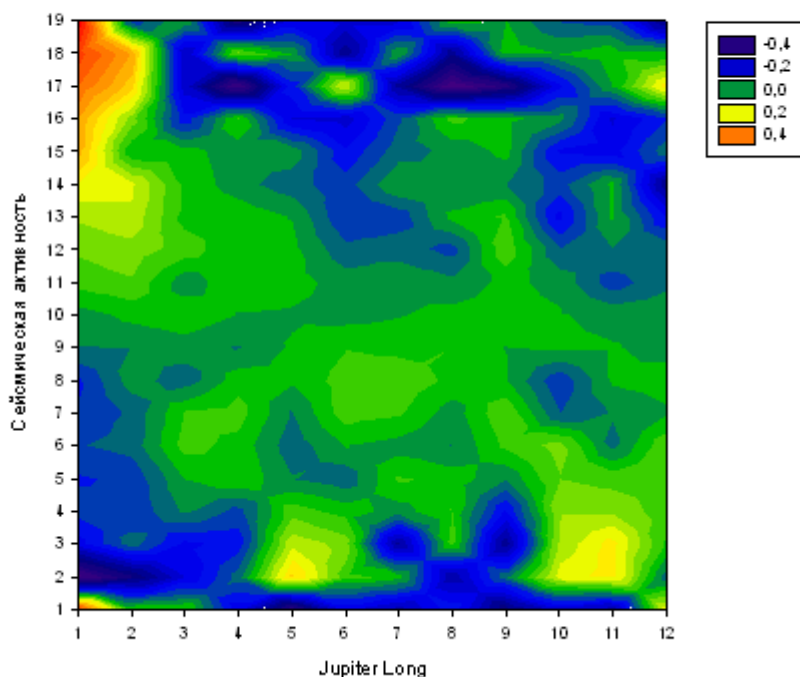


Еще один интересный результат, который был получен с помощью визуализации фрагмента матрицы информативности, представлен на рис. 3. Эти данные демонстрируют зависимость категорий сейсмической активности от долготы Юпитера в модели M12 (отметим, что в других исследованных моделях получается аналогичный результат). Каждой категории долготы на рис. 3 соответствует сектор  $30^\circ$ , причем первая категория соответствует знаку Овна. Таким образом, Юпитер в знаке Овна, видимо, возбуждает сильные землетрясения. Этот результат находится в согласии с данными работы [3], в которой было обнаружено, что средняя сейсмическая энергия  $E$  пропорциональна абсолютной величине гравитационного потенциала Юпитера. Но в исследуемый период 1963-2006 годов точка перигелия Юпитера приходится на 14-15 градус Овна. Следовательно, рас-



стояние от Земли до Юпитера минимально, а абсолютная величина гравитационного потенциала Юпитера максимальна при нахождении Юпитера в знаке Овна.

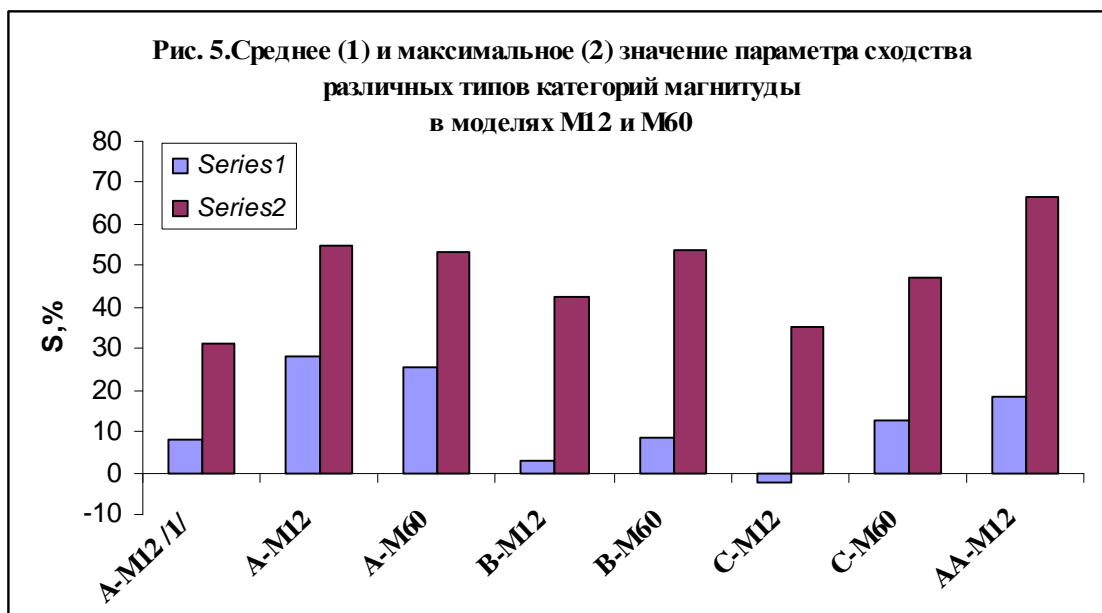
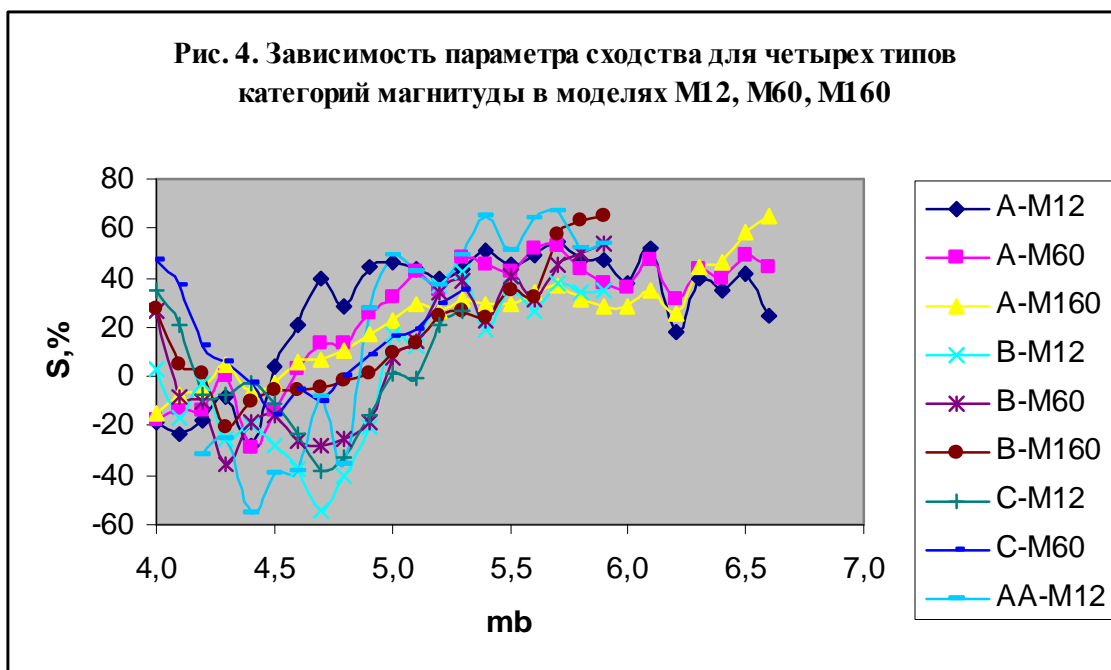
Рис. 3. Зависимость категорий сейсмической активности от долготы Юпитера



На рис. 4 представлен параметр сходства для трех типов категорий и для категории АА в семантических информационных моделях М12, М60 и М160. Отметим, что в этих моделях наблюдается типичное поведение параметра сходства от магнитуды, обнаруженное ранее в работе /1/ на более коротких рядах. Такое поведение указывает на существование *нескольких различных* механизмов возбуждения (инициации) землетрясений, в одном из которых определяющую роль играют небесные тела, составляющие космическое окружение Земли.

На рис. 5 представлена диаграмма распределения среднего (1) и максимального (2) значения параметра сходства различных типов категорий в моделях М12 и М60. Наивысшее среднее значение параметра сходства (28%) достигается в модели М12 (месячный прогноз) для категорий магни-

туды типа А. Наибольшее максимальное значение (66,8%) имеет категория типа АА в модели М12. Это можно сравнить с наибольшим средним (7,87%) и максимальным (30,9%) значением параметра сходства категории магнитуды типа А, полученным в модели М12 в работе /1/.



Таким образом, 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 типа А (магнитуда однократных событий). Это означает, что с увеличением количества собы-

тий и длины временного ряда исследуемых сейсмических событий (землетрясений) возрастает степень когерентности данных и достоверность прогнозирования событий по астрономическим данным. Но такое поведение возможно только в том случае, если воздействие небесных тел существенно влияет на формирование умеренных и сильных землетрясений, т.к. повышение достоверности прогнозирования при увеличении объема исследуемой выборки происходит за счет повышения отношения сигнал/шум при улучшении условий работы системы подавления шума системы «Эйдос-астра».

### **Механизм влияния небесных тел Солнечной системы на сейсмическую активность Земли**

Для объяснения полученных в работах /1-3/ результатов, подтвержденных данными, приведенными выше, можно обратиться к *гипотезе* приливного воздействия небесных тел, широко обсуждаемой в литературе /12-20/.

Одним из первых теоретиков сейсмологии был Иммануил Кант, который после знаменитого Лиссабонского землетрясения, произошедшего 1 ноября 1755 года, выдвинул теорию об определяющем влиянии приливных сил Солнца и Луны в формировании землетрясений. Идея о влиянии приливных сил на тектонические процессы и землетрясения развивалась многими авторами /12-20/, вплоть до создания самостоятельного научного направления астрогеологии, которое получило развитие в связи с космическими исследованиями /21/. В работе /3/ было показано, что сейсмическая энергия Земли связана с изменением гравитационного потенциала Солнечной системы, что полностью подтверждает идею Канта.

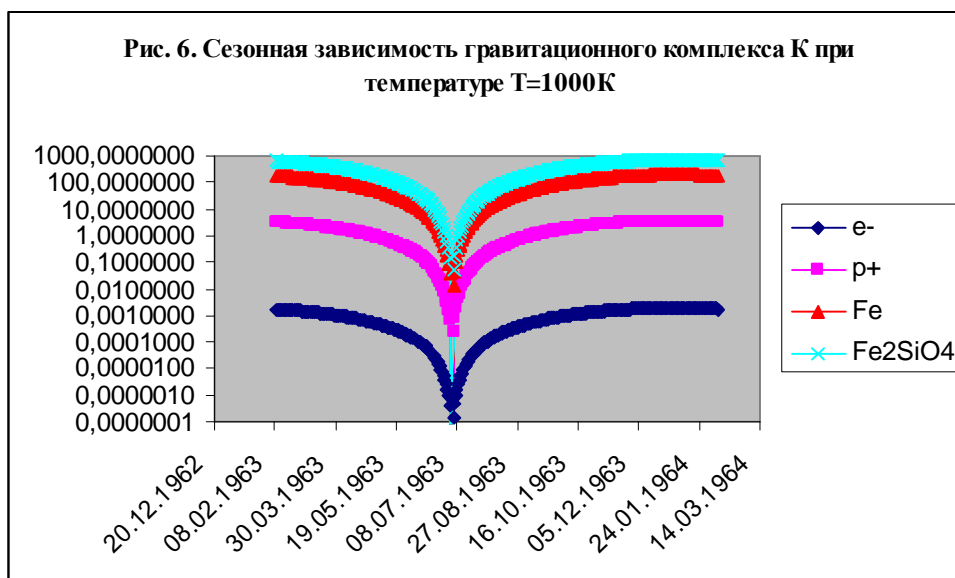
Для определения физического фактора, влияющего на подготовку землетрясений, рассмотрим безразмерный комплекс, характеризующий отношение вариаций гравитационной энергии элементарных частиц, ато-

мов и молекул в гравитационном поле Солнечной системы, к их тепловой энергии:

$$K_i = -\frac{m_i \Delta j}{kT} \quad (9)$$

Здесь  $m_i, \Delta j, k, T$  – масса частицы, изменение гравитационного потенциала Солнечной системы в данной точке на поверхности земли, постоянная Больцмана и абсолютная температура соответственно.

На рис. 6 показано сезонное изменение безразмерного комплекса  $K_i$  для электронов, протонов, атомов железа и молекул группы оливина ( $Fe_2SiO_4$ ) при температуре  $T=1000K$ . Ранее было установлено /5, 22/, что в случае электронов малые вариации этого комплекса при комнатной температуре приводят к сезонным вариациям индуктивности и сопротивления, обнаруженным в работе /23/, а в случае нейтронов и протонов к сезонному изменению скорости радиоактивного распада ядер изотопов /24/.



В случае атомов железа параметр  $K_i$  изменяется в пределах от нуля до примерно 200. Столь большая амплитуда колебаний должна иметь какой-то заметный физический эффект. Можно предположить, что усталостное скачкообразное разрушение материала, инициирующее землетрясение, обусловлено изменением некоторых физико-химических свойств вещества,

возникающих при периодическом изменении комплекса  $K_i$ , что индуцирует пропорциональное изменение давления в некоторой ограниченной области пространства. Рассмотрим эту модель более подробно.

Как известно, во внешнем гравитационном поле химический потенциал изменяется на величину, пропорциональную потенциальной энергии молекул, а условием равновесия является постоянство химического потенциала, т.е.:

$$m(P, T) = m_0(P, T) + u(\mathbf{r}, t) = \text{const} \quad (10)$$

Здесь  $P, T$  – давление и температура тела,  $u$  – потенциальная энергия молекулы, индексом 0 обозначен химический потенциал без внешнего поля. Уравнение (10) применимо при достаточно медленном изменении внешнего поля, чтобы поддерживалось состояние термодинамического равновесия. Тогда изменение давления можно определить путем дифференцирования уравнения (10) по времени при постоянной температуре:

$$v \frac{dP}{dt} = - \frac{du}{dt}$$

Где  $v = (\partial m_0 / \partial P)_T$  – удельный объем. Отсюда, используя определение потенциальной энергии и выражение (9), находим

$$\frac{dP_i}{dt} = \frac{m_i}{v_i} \frac{dj}{dt} = \frac{kT}{n_i} \frac{dK_i}{dt} \quad (11)$$

Таким образом, переменное гравитационное поле индуцирует на границе двух сред скачок давления, пропорциональный разности плотностей и величине изменения гравитационного потенциала. Следовательно, эффект приливного воздействия небесных тел будет особенно заметным в зонах, разделяющих различные тектонические образования, например при наплывании друг на друга разноплотных слоев земной коры, при переходе от плотности земной коры к плотности магмы, в зонах субдукции и т.п., т.е. там, где по современным представлениям концентрируются источники землетрясений.

Полученные вами результаты, вместе с результатами работы /3/ могут служить основой для развития модели подготовки землетрясений по механизму накопления повреждений в земной коре под влиянием приливного воздействия небесных тел.

### Литература<sup>3</sup>

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](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. 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>
5. Трунев А. П., Луценко Е. В. Астросоциотипология: Монография (научное издание). – Краснодар: КубГАУ, 2008, – 279 с.
6. 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>
7. Трунев А.П. Прогнозирование курсов валют по астрономическим данным с использованием системы искусственного интеллекта// Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2009. – №51(07). – Шифр Информрегистра: 0420800012\0002. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2009/07/pdf/15.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](http://www.wdcb.ru/sep/seismology/cat_OBN.ru.html)
11. International Seismological Center, <http://www.isc.ac.uk/>
12. Наливкин Д.В., Тупицын Н.В. Проблемы планетарной геологии. М.: Госгеолтехиздат, 1963. 342 с.
13. Кропоткин П.Н. Возможная роль космических факторов в геотектонике // Геотектоника. 1970. № 2. С. 30–46.
14. Широков В.А. Влияние космических факторов на геодинамическую обстановку и ее долгосрочный прогноз для северо-западного участка Тихоокеанской тектонической зоны // Вулканизм и геодинамика. М.:Наука, 1977. С. 103-115.

<sup>3</sup> Для удобства читателей некоторые из этих работ размещены на сайте: <http://lc.kubagro.ru/>

15. Николаев В.А. Пространственно-временные особенности связи сильных землетрясений с приливными фазами. Наведенная сейсмичность М.: Наука, 1994. 240 с.
16. Гусев А.А., Петухин А.Г. О возможной синхронизации сильных землетрясений лунным 18.6-летним циклом, его долями и кратными // Вулканология и сейсмология. 1997. № 3. С. 64-79.
17. Авсюк Ю.Н., Худзинский Л.Л., Суворова И.И. Связь сейсмичности Земли с приливным воздействием Луны и Солнца // Вычислит. сейсмология. 2002. Вып. 33. С. 311–336.
18. 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.
19. Б.В.ЛЕВИН. О природе некоторых периодических изменений в сейсмическом режиме Земли//Вестник ДВО РАН. 2006. № 1
20. Широков В.А. РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ПОДГОТОВКИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ВУЛКАНИЧЕСКИХ ИЗВЕРЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ ИХ СВЯЗИ С КОСМИЧЕСКИМИ РИТМАМИ // МАТЕРИАЛЫ Всероссийской научной конференции 100- ление Камчатской экспедиции Русского географического общества 1908-1910 гг. Петропавловск-Камчатский, 2009 [http://www.kscnet.ru/ivs/slsecret/konf\\_r/sbornik/pdf26.pdf](http://www.kscnet.ru/ivs/slsecret/konf_r/sbornik/pdf26.pdf)
21. Astrogeology Science Center// <http://astrogeology.usgs.gov/>
22. Alexander P. Truneev. The influence of the gravitational potential of celestial bodies on the rate of radioactive decay of the atomic nuclei/ Chaos and Correlation. International Journal, October 8th, 2008. <http://trounev.com/Chaos/October2008CR.pdf>
23. Татьяна Черноглазова, Игорь Дегтярев. Временные закономерности изменения электрических и магнитных свойств материалов и их связь с сейсмичностью Земли/ Chaos and Correlation. International Journal, No 6, April 30, 2007.
24. Jere H. Jenkins, Ephraim Fischbach, John B. Buncher, John T. Gruenwald, Dennis E. Krause, and Joshua J. Mattes. Evidence for Correlations Between Nuclear Decay Rates and Earth-Sun Distance/ arXiv:0808.3283v1 [astro-ph] 25 Aug 2008, <http://arxiv.org/abs/0808.3283v1>
25. Луценко Е.В. Универсальный информационный вариационный принцип развития систем / Е.В. Луценко // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2008. – №07(41). – Шифр Информрегистра: 0420800012\0091. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2008/07/pdf/10.pdf>
26. Луценко Е.В. Существование, несуществование и изменение как эмерджентные свойства систем // Квантовая Магия. – 2008. – Т. 5. – Вып. 1. – С. 1215–1239 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://quantmagic.narod.ru/volumes/VOL512008/p1215.html>.
27. Луценко Е.В. Количественные меры возрастания эмерджентности в процессе эволюции систем (в рамках системной теории информации) / Е.В. Луценко // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2006. – №05(21). – Шифр Информрегистра: 0420600012\0089. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2006/05/pdf/31.pdf>