

УДК 303.732.4

UDC 303.732.4

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО АСТРОНОМИЧЕСКИМ ДАННЫМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

EARTHQUAKE FORECAST ON ASTRONOMICAL DATA USING THE ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEM

Трунев А.П. – к. ф.-м. н., Ph.D.

Alexander Trunev , Ph.D.

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

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

Развита модель прогнозирования землетрясений на основе астрономических параметров с использование системы искусственного интеллекта

The earthquake forecast model based on the astronomical data using the artificial intelligence system is developed

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

Key words: ASTROSOCIOTYPOLOGY, COMPUTATIONAL EXPERIMENT, SEMANTIC INFORMATION MODELS, EARTHQUAKE FORECAST.

Введение

В работе /1/ была сформулирована теорема астросоциотипологии, которая устанавливает зависимость функции распределения случайных событий, происходящих на земле от кинематических и динамических параметров нашей планеты при ее движении вокруг Солнца. Одним из следствий этой теоремы является то, что любые непрерывные или дискретные распределения событий по времени при их представлении в зависимости от координат небесных тел содержат когерентные колебания, обусловленные движением небесных тел.

В работе /2/ высказана гипотеза о том, что эти когерентные колебания могут быть использованы для распознавания событий любой природы, например, социальных или экономических категорий /3-5/, а также природных явлений.

В настоящей работе предложена модель прогнозирования землетрясений по астрономическим данным на основе системы искусственного интеллекта «Эйдос-астра» /6-7/. База данных землетрясений была сформирована на основе оперативного сейсмологического каталога ГС РАН /8/, со-

державшего 65541 запись событий землетрясений, произошедших в различных регионах мира в период с 1 января 1993 года по 20 ноября 2008 г.

Моделирование событий осуществлялось по параметру сходства, который является аналогом коэффициента корреляции в статистике. 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. Обсуждается гипотеза, что этот эффект обусловлен гравитацией небесных тел. Для проверки гипотезы было исследовано влияние 12 гравитационных комплексов на всю совокупность 65541 событий и выделены наиболее информативные астрономические признаки землетрясений.

Задача о распознавании категорий событий в поле центральных сил

Вообще говоря, каждому моменту времени можно сопоставить множество категорий событий, происходящих в данном месте на нашей (или иной) планете. События могут иметь детерминированную или случайную природу. По мнению авторов целесообразно считать, что в общем случае система детерминации любого события включает в различных соотношениях и детерминированную, и случайную компоненты. Чтобы установить характер (закономерность) последовательности событий и описать ее в виде функции, можно сопоставить ее с другой последовательностью или совокупностью последовательностей, которая рассматривается как аргумент этой функции. При этом если эти последовательности являются детерминированными, они могут играть роль времени, отличного от линейного времени Ньютона. Можно сформулировать задачу распознавания категорий событий, используя детерминированные последовательности. Частным случаем этой задачи является распознавание категорий событий по астрономическим данным положений небесных тел Солнечной системы в астросоциотипологии /3-4/ и распознавание категорий курсов валют /5/.

Рассмотрим задачу распознавания категорий по астрономическим данным. Итак, 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. Каждое событие землетрясения 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:

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

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

Здесь w – плотность распределения событий вдоль нормированной координаты /1/. 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 /7/

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

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

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

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

Первая величина (2) называется информативность признака (значения фактора), а вторая величина является среднеквадратичным отклонением информативности или интегральная информативность (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 и распознавания может рассматриваться как разложение вектора распознаваемого объекта в ряд по векторам категорий (классов распознавания) /7/. Этот вектор, состоящий из единиц и нулей, можно определить по координатам небесных тел, соответствующих дате и месту происхождения события l в виде

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

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

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

В случае, когда система векторов (3) является полной, можно 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. При этом уровень сходства данных события с той или иной категорией можно определить по величине скалярного произведения вектора (4) на вектор (3), т.е.

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

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» /6/ осуществляется по параметру сходства, который определяется следующим образом /3-5/:

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

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. Оче-

видно, что параметр сходства должен удовлетворять критерию простой проверки

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

В работах /3-4/ и других было показано, что процедура распознавания по параметру сходства (6), реализованная в системе искусственного интеллекта «Эйдос-астра» /6/, является устойчивой как относительно объема выборки, так и относительно числа ячеек модели. Математическое обоснование этой процедуры дано в монографии /7/. 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 /1-2/. В некоторых случаях этого достаточно, чтобы осуществить распознавание категорий. Эту задачу можно сравнить с разложением солнечного света призмой. Свет представляет собой смесь случайных электромагнитных колебаний, но после прохождения призмы свет разлагается в спектр категорий цвета. При этом случайная природа самого света не меняется.

Исходные данные и технология моделирования землетрясений

База данных землетрясений была сформирована на основе оперативного сейсмологического каталога ГС РАН /8/, содержащего 65541 запись событий землетрясений, произошедших в различных регионах мира в период с 1 января 1993 года по 20 ноября 2008 г.

Из исходной базы было образовано несколько различных БД для исследования влияния астрономических параметров на магнитуду и глубину гипофокуса, на ежедневное число землетрясений и на их локализацию.

Категория «Магнитуда» была получена из исходной базы данных путем умножения параметра MPSP на 10 и добавления символа А – см. таблицу 1. Всего было образовано 47 категорий этого типа, которые соответствуют изменению параметра MPSP от 3 до 7.5 с шагом 0.1 (46 катего-

рий) плюс одна категория А0, соответствующая тем случаям, когда по данным каталога /8/ параметр MPSP=0. Отметим, что магнитуда MPSP рассчитывается по максимальной скорости смещения в объемных волнах /8/.

ТАБЛИЦА. 1. Фрагмент базы данных категории «Магнитуда»

ID	NAME	CATS1	SUNLON	SUNDIST	MOONLON	MOONDIST
1	01.01.1993	A54:A54:A56:A53:	280.9686023746710	0.9832953224852	13.6193309143572	0.0026758287293
2	02.01.1993	A51:A49:	281.9877769647200	0.9832827412929	25.8047627280948	0.0026514329751
3	03.01.1993	A60:A52:A46:A62:A53:A54:	283.0068945266630	0.9832755597314	38.2524447909018	0.0026206202125
4	04.01.1993	A62:A53:A56:A60:A60:	284.0259498778590	0.9832740284513	51.0313074310990	0.0025854001894
5	05.01.1993	A48:	285.0449399774140	0.9832784151922	64.1942901475346	0.0025483733705
6	06.01.1993	A49:A58:	286.0638619286330	0.9832889650152	77.7694840563520	0.0025125186647
7	07.01.1993	A61:A0:A57:A0:	287.0827135891120	0.9833058932933	91.7514779908947	0.0024808734659
8	08.01.1993	A55:A55:A46:	288.1014940625240	0.9833293611578	106.0953151556760	0.0024561346250
9	09.01.1993	A49:A56:A52:A47:	289.1202049674210	0.9833594500691	120.7161775556960	0.0024402538842
10	10.01.1993	A66:	290.1388517853630	0.9833961422425	135.4972701770000	0.0024341353125

Данные по глубине гипофокуса обрабатывались по формуле:

$$B = 10 \ln H$$

где глубина выражена в километрах. Всего было выделено 54 категории, соответствующие глубине гипофокуса от 0 до 812 км. В таблице 2 представлен фрагмент базы данных категорий глубины гипофокуса.

ТАБЛИЦА. 2. Фрагмент базы данных категории «Глубина гипофокуса»

ID	NAME	CATS1	SUNLON	SUNDIST	MOONLON	MOONDIST
1	01.01.1993	B35:B35:B35:B53:	280.9686023746710	0.9832953224852	13.6193309143572	0.0026758287293
2	02.01.1993	B35:B34:	281.9877769647200	0.9832827412929	25.8047627280948	0.0026514329751
3	03.01.1993	B39:B11:B60:B41:B40:B40:	283.0068945266630	0.9832755597314	38.2524447909018	0.0026206202125
4	04.01.1993	B42:B35:B43:B37:B35:	284.0259498778590	0.9832740284513	51.0313074310990	0.0025854001894
5	05.01.1993	B36:	285.0449399774140	0.9832784151922	64.1942901475346	0.0025483733705
6	06.01.1993	B35:B35:	286.0638619286330	0.9832889650152	77.7694840563520	0.0025125186647
7	07.01.1993	B11:B23:B35:B35:	287.0827135891120	0.9833058932933	91.7514779908947	0.0024808734659
8	08.01.1993	B11:B35:B63:	288.1014940625240	0.9833293611578	106.0953151556760	0.0024561346250
9	09.01.1993	B35:B35:B35:B35:	289.1202049674210	0.9833594500691	120.7161775556960	0.0024402538842
10	10.01.1993	B35:	290.1388517853630	0.9833961422425	135.4972701770000	0.0024341353125

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 (36.61666667E; 55.08333333N) в 9:00 GMT в топоцентрической системе координат. Отметим, что выбор этой точки не является существенным для решаемого класса задач.

Для проверки различных гипотез из астрономических параметров расстояний было образовано шесть гравитационных комплексов G_1 - G_6 :

- 1) суммарный нормированный гравитационный потенциал восьми небесных тел – Луны, Марса, Меркурия, Венеры, Юпитера, Сатурна, Урана, Нептуна;
- 2) суммарный нормированный гравитационный потенциал семи небесных тел – Луны, Марса, Меркурия, Венеры, Сатурна, Урана, Нептуна;
- 3) суммарный нормированный гравитационный потенциал шести небесных тел – Марса, Меркурия, Венеры, Сатурна, Урана, Нептуна;
- 4) суммарный нормированный гравитационный потенциал пяти небесных тел – Марса, Меркурия, Венеры, Урана, Нептуна;
- 5) суммарный нормированный гравитационный потенциал четырех небесных тел – Марса, Меркурия, Урана, Нептуна;
- 6) суммарный нормированный гравитационный потенциал девяти небесных тел – Солнца, Луны, Марса, Меркурия, Венеры, Юпитера, Сатурна, Урана, Нептуна.

Таким образом, по определению

$$G_k = \frac{j_{k,\max} - j_k}{j_{k,\max} - j_{k,\min}}, \quad j_k = -\sum_{i=1}^{N_k} g \frac{M_i}{R_i}, \quad k = 1, \dots, 6. \quad (7)$$

Здесь g, M_i – гравитационная постоянная и масса небесного тела соответственно. Из этих комплексов были также образованы шесть других комплексов G_7 - G_{12} , представляющих собой суточное изменение (первую производную по времени) каждого из комплексов G_1 - G_6 соответственно.

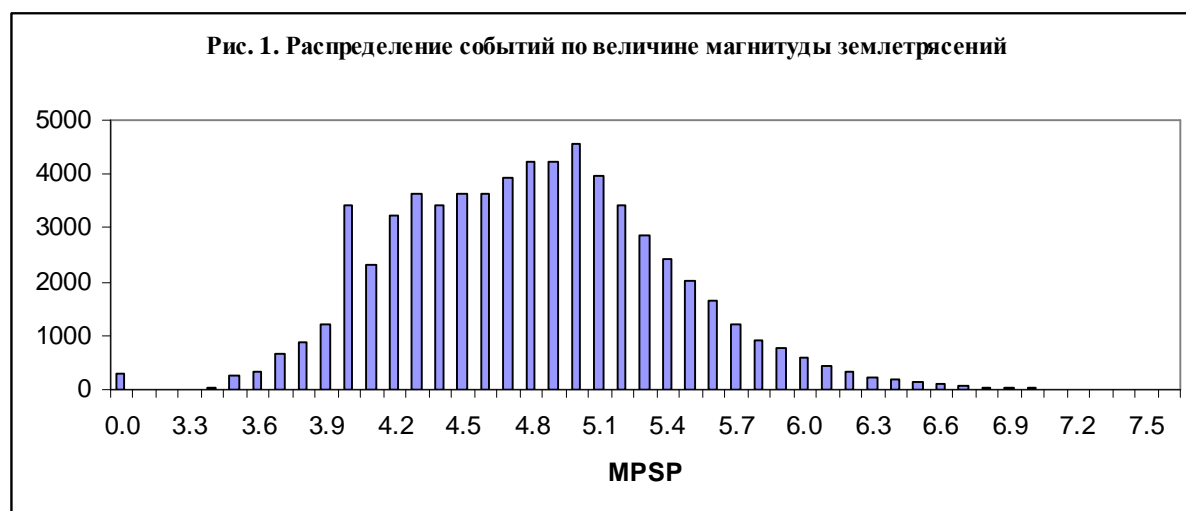
Решение прямой задачи включает в себя нормирование входных параметров и приведение их к одному масштабу изменения в интервале (0;360), разбиение интервалов на M частей, вычисление матрицы абсолют-

ных частот и информативности, в соответствии с формулами (1-2). Отметим, что в системе «Эйдос-астра» реализован режим синтеза нескольких моделей, в которых число ячеек принимает любое заданное значение $M=2,3,\dots,173$ /4/. Очевидно, что модель M12 наилучшим образом подходит для осуществления месячного прогноза, а модель M120 может быть использована для 3 дневного прогноза.

Решение обратной задачи включает в себя распознавание (прогнозирование) 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. Рассмотрим решение этой задачи в случае исследуемой совокупности событий землетрясений.

Достоверность идентификации категорий магнитуды

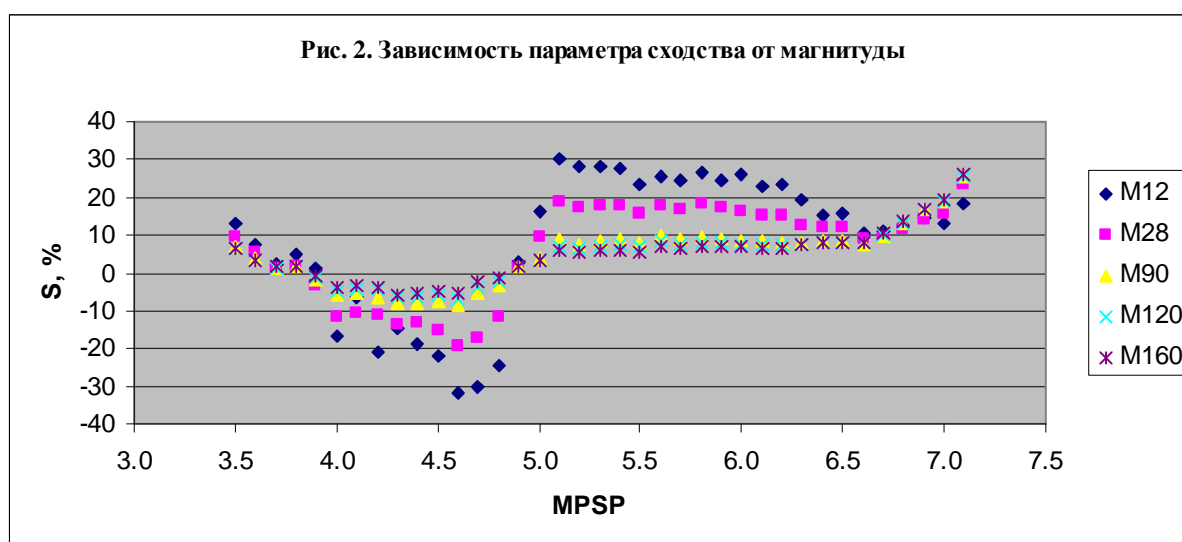
Путем обработки исходных данных было получено распределение событий по величине магнитуды – рис. 1.



Заметим, что среди исследуемых событий преобладают легкие и умеренные землетрясения, тогда как в природе преобладают слабые (около 49000 ежегодно) и очень слабые землетрясения (около 9000 ежедневно) /9/. С другой стороны, умеренные и сильные землетрясения, произошедшие в мире в исследуемый период, практически все отражены в каталоге /8/. По-

этому можно ожидать, что именно эти события будут распознаваться наиболее достоверно.

Действительно, на рис. 2 представлены параметр сходства в зависимости от магнитуды в пяти моделях – M12 (месячный прогноз), M28 (двухнедельный прогноз), M90 (четырёхдневный прогноз), M120 и M160 (2-х и 3-дневный прогноз). Из этих данных следует, что достоверность идентификации магнитуды по астрономическим параметрам на 20-60% выше для умеренных и сильных землетрясений, чем для легких.

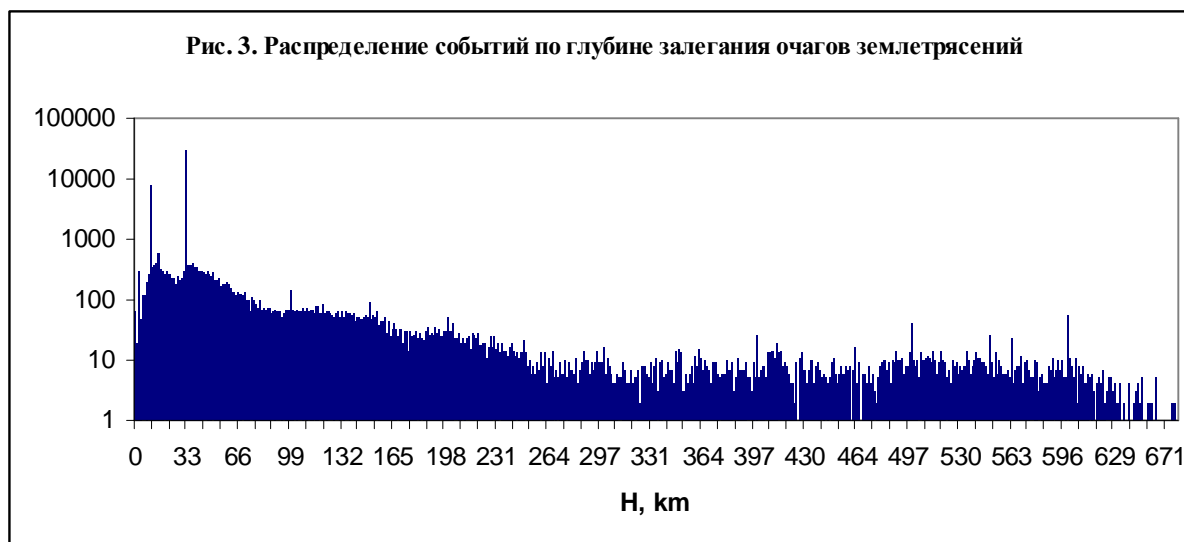


В месячном прогнозе достоверность идентификации магнитуды умеренных и сильных землетрясений достигает 30%, тогда как в 2-4-дневном прогнозе максимальное значение параметра сходства не превосходит 10%. Для сравнения укажем, что в задачах распознавания социальных категорий по астрономическим данным параметр сходства достигает 80% /3-4/. В задачах распознавания экономических категорий по астрономическим данным достоверность 15-минутного прогноза категорий повышения/понижения курсов валют достигает 82% на протяжении недели и 100% в часовом прогнозе /5/.

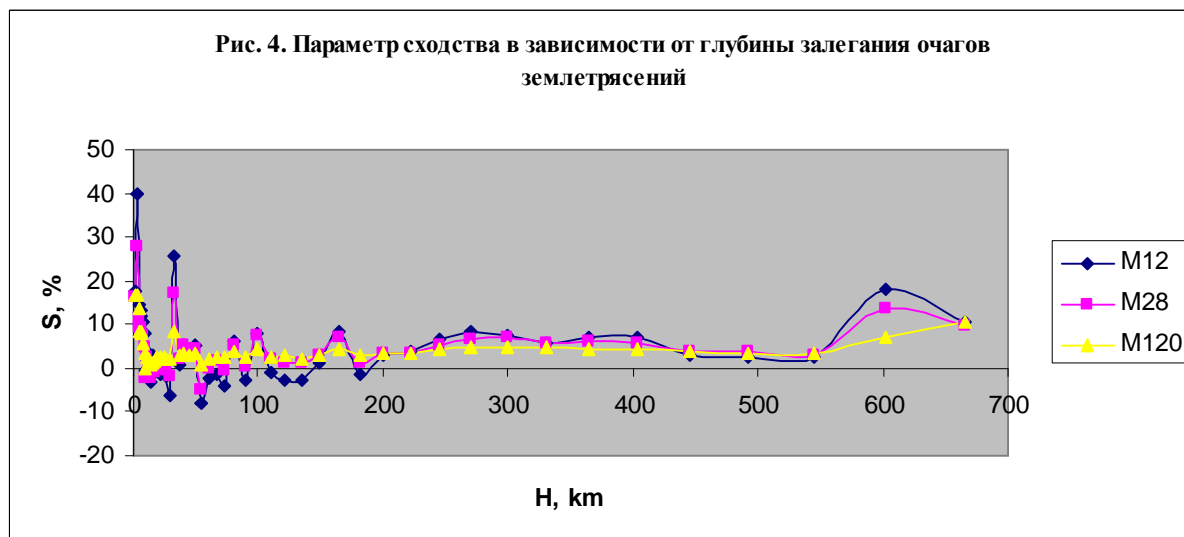
Тем не менее, развитая модель позволяет осуществлять прогноз умеренных и сильных землетрясений, как будет показано ниже. Разумеется, что ценность такого прогноза возрастает, если кроме магнитуды указать еще и координаты события, например, глубину залегания очага (гипофокуса) землетрясения.

Достоверность идентификации глубины гипофокуса

Распределение событий по глубине залегания очагов землетрясений содержит два пика, которые приходятся на глубину 10 и 33 км – рис. 3. Первый пик, видимо, соответствует кровле «гранитного» слоя. Второй пик лежит ниже поверхности «базальтового» слоя (границы Конрада).



Параметр сходства категории глубины залегания очага землетрясения (гипофокуса) имеет два максимума, которые приходятся на глубину 3 и 33 км соответственно – рис. 4.

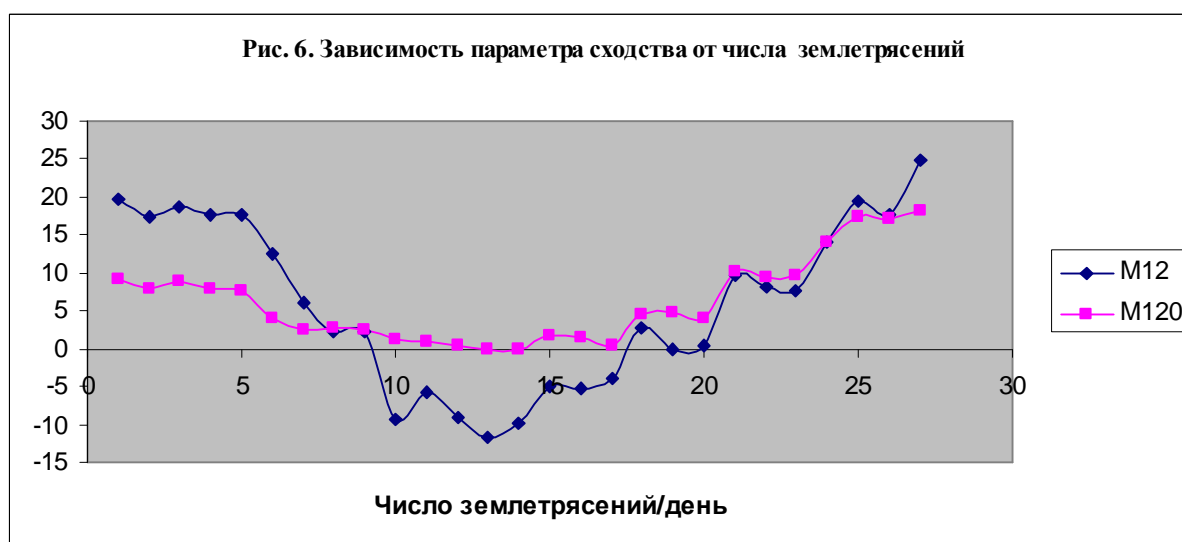
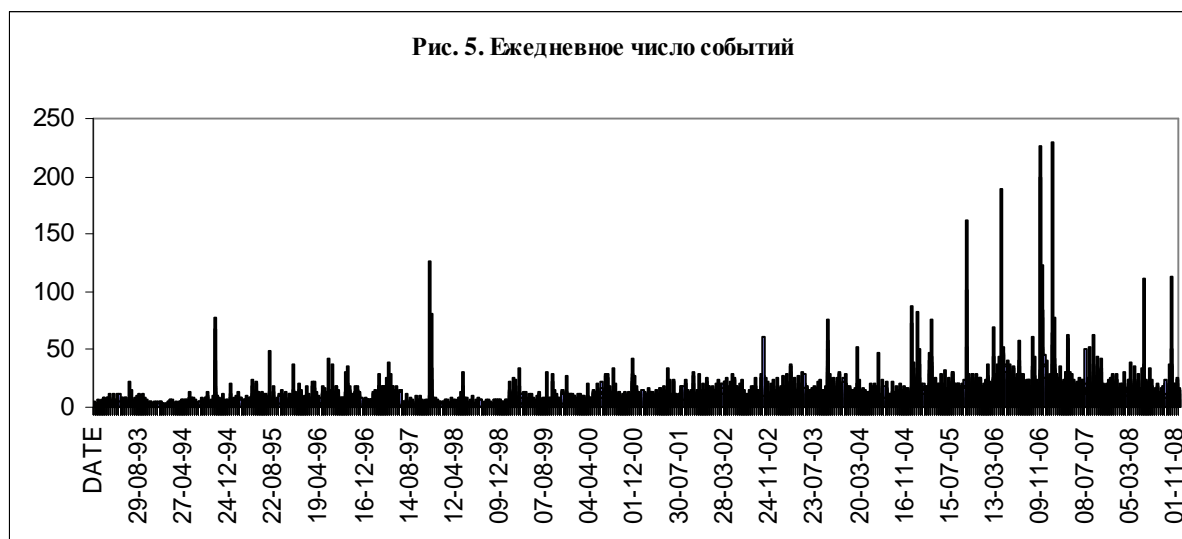


Неглубокие (3-7 км, 33 км) и глубокие (600 км) землетрясения распознаются лучше, чем средней глубины. Различие между плохо распознаваемыми и хорошо распознаваемыми случаями достигает 47%, что свидетельствует о заметном влиянии небесных тел на *некоторые* сейсмические про-

цессы. Физический механизм этого влияния пока неизвестен, однако, скачкообразное изменение параметра сходства с ростом магнитуды – см. рис. 2, указывает на триггерный (пороговый) механизм, как при подземных взрывах /10/. Иначе говоря, влияние небесных тел лишь запускает сейсмический процесс, но не создает деформации, приводящие к разлому. Причем максимальное влияние небесных тел проявляется в земной коре, а также в зонах субдукции /11/ на глубине 600 км, вызывая умеренные и сильные землетрясения с $MPSP > 5$.

Достоверность идентификации частоты событий

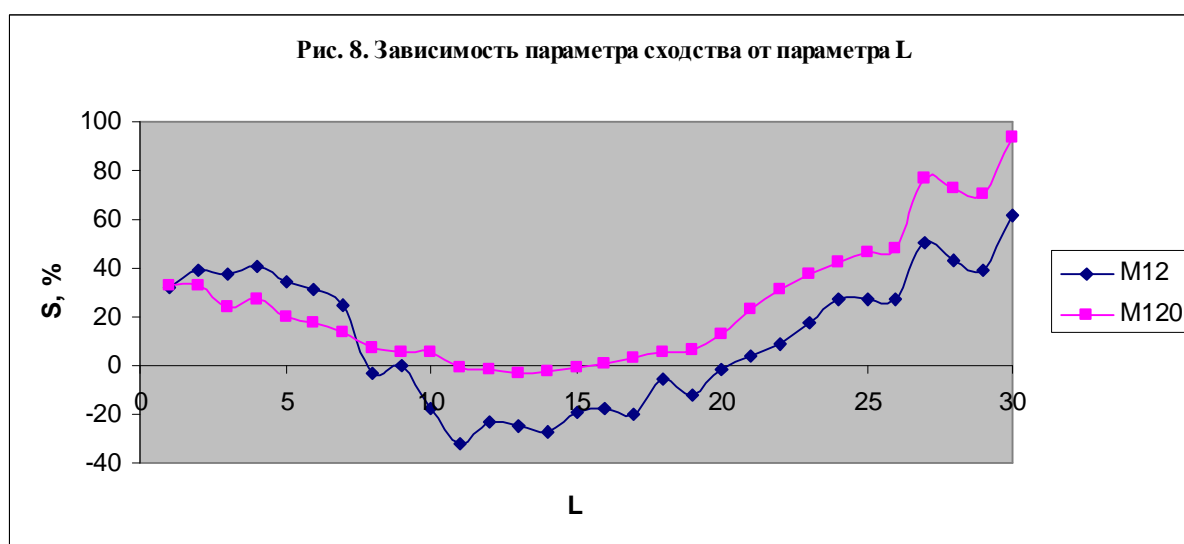
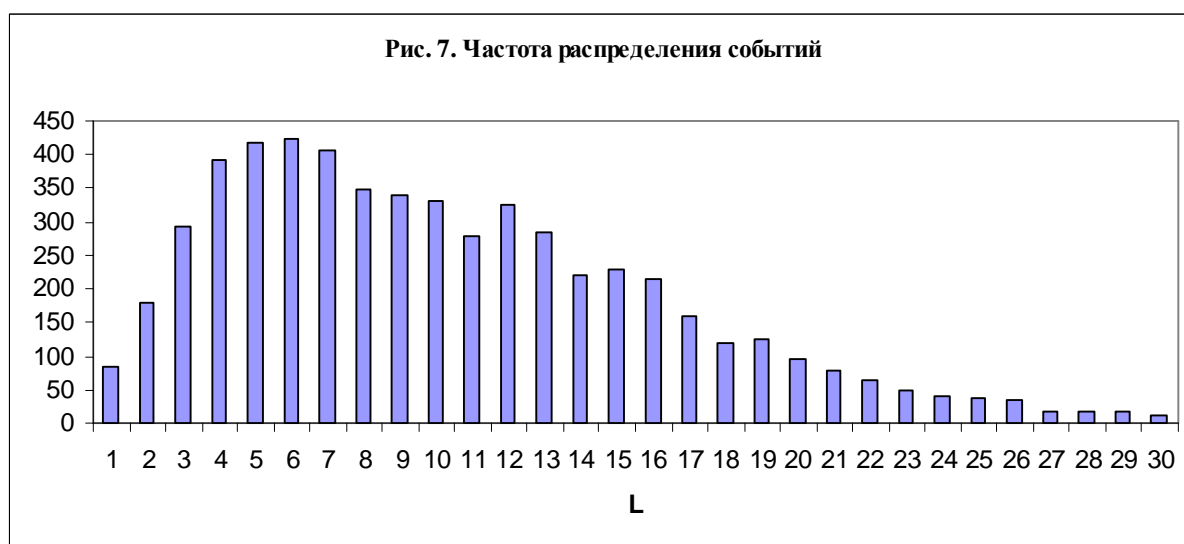
Диаграмма ежедневного числа событий представлена на рис. 5, в результате распознавания частоты событий – на рис. 6.



Среди событий хорошо распознаются дни с малым числом умеренных и сильных землетрясений (< 5) и с большим их числом (> 20). Вместо ежедневного числа событий можно использовать их суммарную магнитуду, поделенную на 5, т.е. параметр

$$L = \frac{1}{5} \sum_i MPSP_i \quad (8)$$

На рис. 7 представлена частота событий в зависимости от параметра L , а на рис. 8 – результат распознавания этих событий.



Кривые на рис 6 и 8 имеют сходно поведение, однако величина параметра сходства при распознавании по параметру L в 3 раза больше, чем при распознавании частоты событий. Следовательно, параметр L является

более информативным, нежели частота событий и может служить сейсмической характеристикой дня. Дни с низкой сейсмичностью ($L < 5$) и с высокой сейсмичностью ($L > 20$) распознаются достаточно достоверно, причем прогноз может быть дан как на месяц, так и на 3 дня вперед. Полученные результаты позволяют сделать вывод о зависимости некоторых сейсмических процессов от положения небесных тел.

Проверка гравитационных гипотез

Среди механизмов влияния небесных тел на процессы, происходящие в недрах нашей планеты, в первую очередь необходимо исследовать гравитацию. Технология моделирования на основе системы искусственного интеллекта «Эйдос-астра» позволяет установить, какие астрономические признаки являются наиболее информативными при распознавании тех или иных категорий, т.е. оказывают на них наибольшее влияние. Это можно сделать как путем прямой оценки информативности, так и путем оценки возбуждающих и тормозящих связей нейронов.

Заметим, что из 65541 записи событий в каталоге /8/ в 30016 случаях положение гипофокуса определено на глубине 33 км. Параметр сходства на этой глубине имеет локальный максимум – см. рис. 4. Сравним эти события, имеющие, видимо, отношение к процессам в магме, с событиями, происходящими на глубине 3 км (напряжения и трещины в земной коре) и на глубине 545-665 км (зоны субдукции). В таблице 3 приведены данные по информативности астрономических признаков трех типов событий в модели M120. В фигурных скобках указан диапазон изменения признака. Отметим, что все признаки нормированы согласно (7) и приведены к одному интервалу изменения с долготой небесных тел – (0;360). Каждый из признаков отражает влияние гравитации преимущественно одного небесного тела, а именно:

G6, G12 – Солнца;

G1, G7 – Юпитера;

- G2, G8 – Сатурна, Луны;
- G3, G9 – Сатурна, Венеры;
- G4, G10 – Венеры;
- G5, G11 – Урана, Марса;

Таблица. 3. Информативность (бит) астрономических признаков 12 гравитационных комплексов G₁-G₁₂ в трех различных зонах формирования землетрясений

Кора 3km		Магма 33km		Зоны субдукции 545-665 km	
Астропризнак	Бит	Астропризнак	Бит	Астропризнак	Бит
G2 {342, 345}	1.628714	G9 {333, 336}	0.632511	G3 {345, 348}	1.166759
G3 {351, 354}	1.565744	G7 {3, 6}	0.570593	G2 {348, 351}	1.043125
G1 {357, 360}	1.563297	G8 {345, 348}	0.570593	G9 {330, 333}	0.914688
G8 {39, 42}	1.307307	G8 {351, 354}	0.570593	G3 {351, 354}	0.907268
G3 {354, 357}	1.302067	G3 {348, 351}	0.441355	G8 {27, 30}	0.858413
G5 {18, 21}	1.286695	G9 {339, 342}	0.431437	G3 {348, 351}	0.832646
G2 {348, 351}	1.276722	G7 {345, 348}	0.422928	G5 {12, 15}	0.796496
G2 {351, 354}	1.238849	G8 {357, 360}	0.422928	G5 {24, 27}	0.785046
G2 {354, 357}	1.140866	G3 {342, 345}	0.416945	G11 {12, 15}	0.762961
G3 {12, 15}	1.105452	G1 {9, 12}	0.414573	G11 {36, 39}	0.752301
G9 {45, 48}	1.098683	G1 {18, 21}	0.389067	G4 {3, 6}	0.731689
G2 {345, 348}	1.092011	G9 {345, 348}	0.382582	G3 {15, 18}	0.711954
G8 {21, 24}	1.078948	G1 {12, 15}	0.369877	G5 {9, 12}	0.702393
G10 {342, 345}	1.057963	G9 {357, 360}	0.336634	G2 {351, 354}	0.683843
G2 {27, 30}	1.053878	G1 {0, 3}	0.324544	G5 {87, 90}	0.674839
G3 {357, 360}	0.991198	G2 {114, 117}	0.324544	G2 {123, 126}	0.672615
G11 {306, 309}	0.970354	G3 {357, 360}	0.319902	G9 {6, 9}	0.666007
G5 {42, 45}	0.955314	G1 {357, 360}	0.317164	G8 {327, 330}	0.648831
G9 {42, 45}	0.917441	G2 {345, 348}	0.311103	G9 {36, 39}	0.648831
G10 {12, 15}	0.808547	G2 {354, 357}	0.311103	G11 {351, 354}	0.648831
G4 {66, 69}	0.797887	G3 {351, 354}	0.311103	G10 {342, 345}	0.636354
G11 {309, 312}	0.790914	G7 {12, 15}	0.311103	G3 {102, 105}	0.628219
G9 {48, 51}	0.786323	G2 {351, 354}	0.292553	G1 {39, 42}	0.620224
G5 {255, 258}	0.778557	G3 {339, 342}	0.292553	G2 {39, 42}	0.600820
G10 {102, 105}	0.777275	G1 {15, 18}	0.289532	G5 {15, 18}	0.600820
G2 {15, 18}	0.770603	G2 {342, 345}	0.289532	G5 {0, 3}	0.595779
G6 {87, 90}	0.614583	G6 {285, 288}	0.059968	G6 {261, 264}	0.505014
G12 {234, 237}	0.606144	G12 {249, 252}	0.059032	G12 {207, 210}	0.489212

Как следует из данных, приведенных в таблице 3, во всех случаях преобладающее влияние на формирование очагов оказывают Юпитер, Сатурн, Луна и Венера. В коре и в зонах субдукции велика роль гравитационного потенциала, в магме главным фактором является производная гра-

витационного потенциала по времени. Этот результат хорошо соотносится с механикой процессов формирования очагов землетрясений. Действительно в коре и в зонах субдукции главным фактором разрушения является напряженное состояние, вызванное избыточным давлением. Но во внешнем гравитационном поле давление изменяется пропорционально гравитационному потенциалу. В магме же преобладают гидродинамические процессы, чувствительные к изменению давления во времени. Таким процессом является, например, схлопывание пузыря вблизи твердой поверхности.

Вообще говоря, астрономические признаки (значения факторов) могут оказывать как возбуждение, так и торможение, т.е. как способствовать наступлению события, так и препятствовать этому.

На рис. 9-11 представлены модели нелокальных нейронов трех типов процессов, перечисленных в таблице 3.

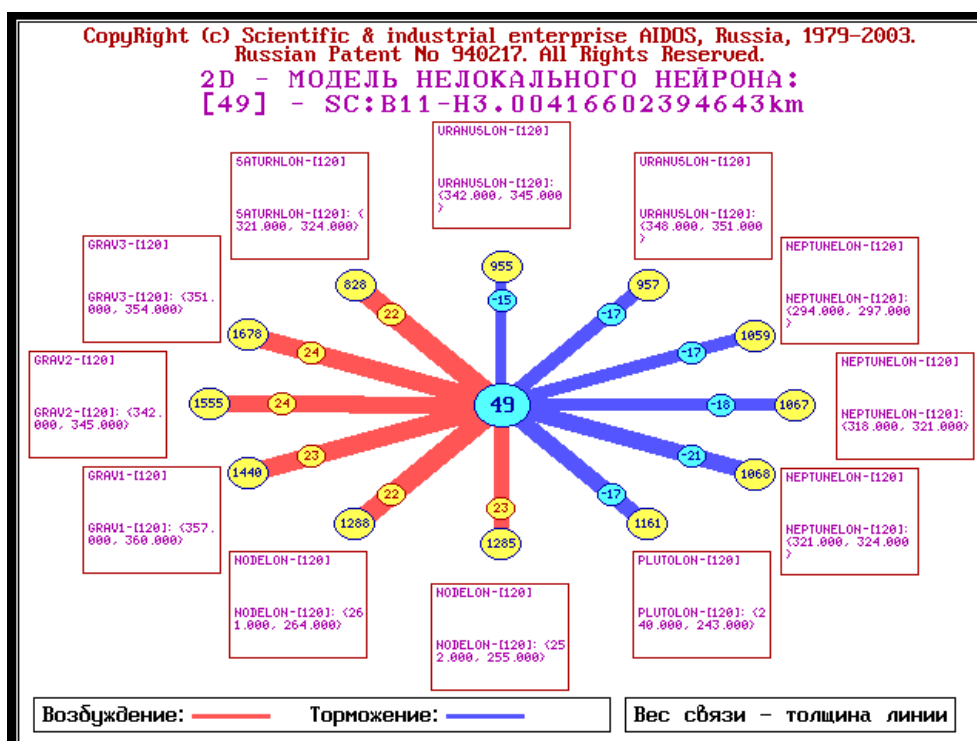


Рис. 9. Модель нелокального нейрона 300 событий землетрясений с глубиной гипофокуса 3 км.

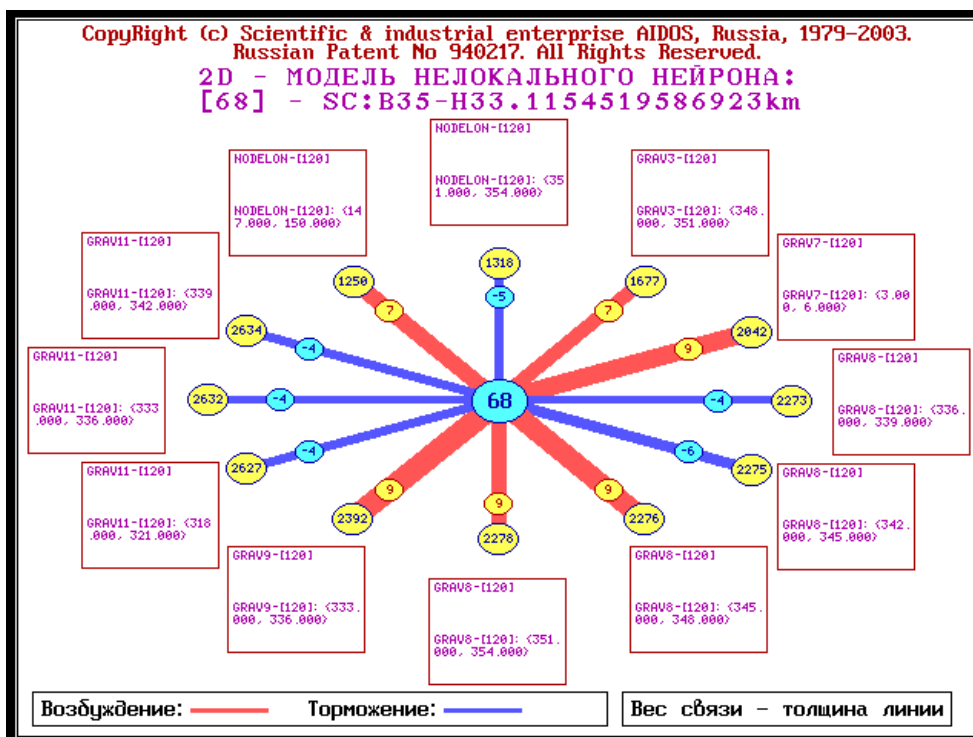


Рис. 10. Модель нелокального нейрона 30016 событий землетрясений с глубиной гипофокуса 33 км.

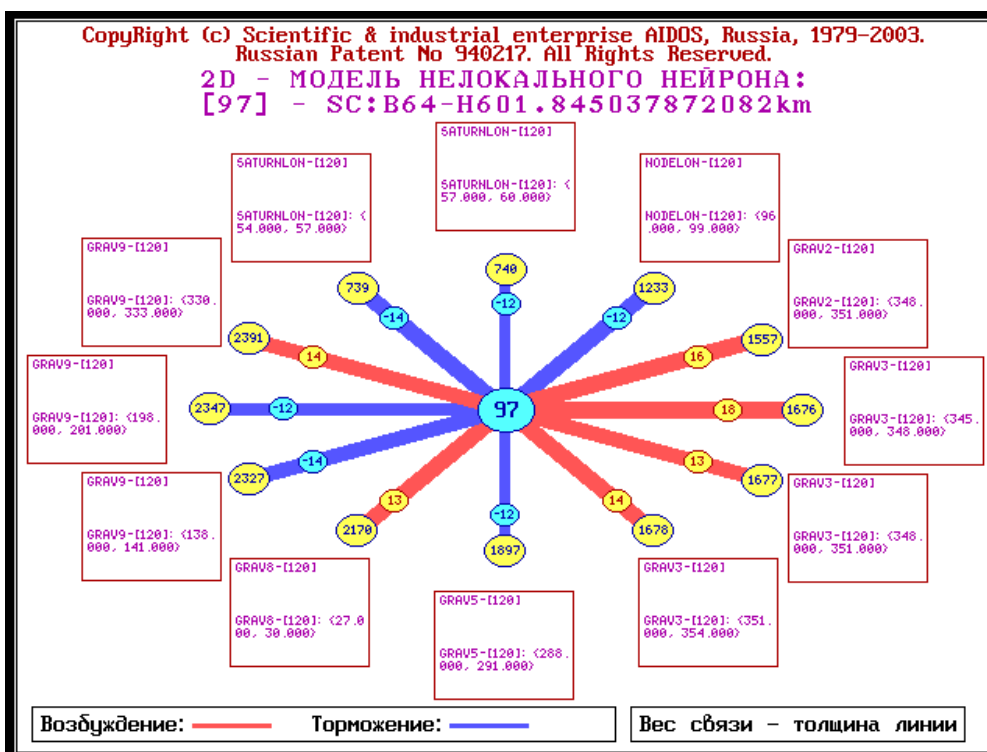


Рис. 11. Модель нелокального нейрона 336 событий землетрясений с глубиной гипофокуса 545-665 км.

Из данных, приведенных на рис. 9, 11 следует, что комплексы G_1 , G_2 , G_3 (GRAV1-GRAV3) оказывают возбуждающее влияние на процессы в

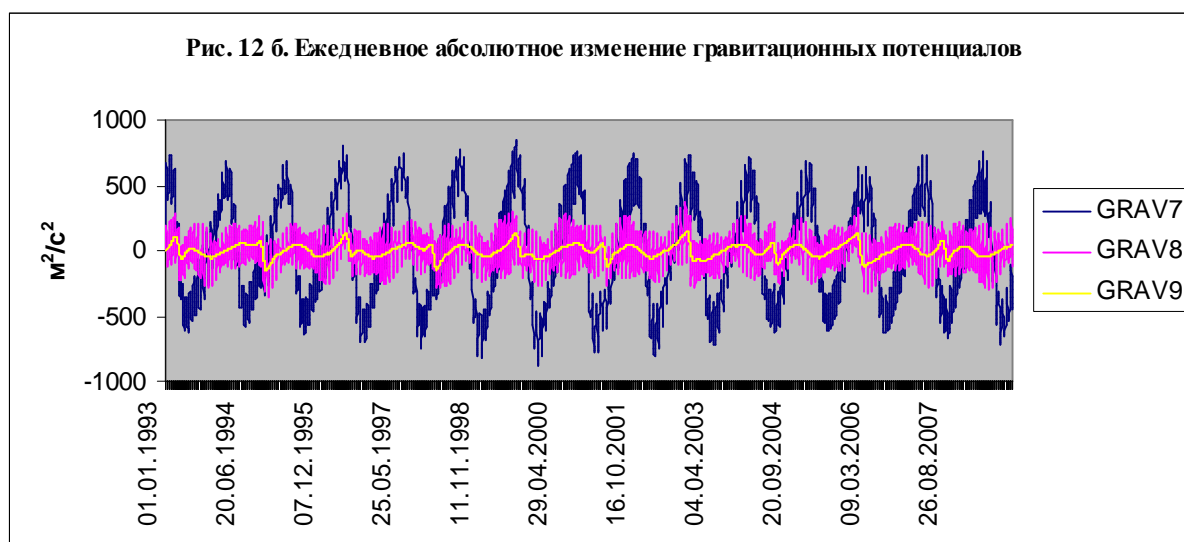
земной коре, а комплексы G_2, G_3, G_8, G_9 – в зонах субдукции. Процессы в магме возбуждают комплексы G_3, G_7, G_8, G_9 . Из этого можно предположить, что процессы в зонах субдукции носят смешанный характер, т.е. включают, как тектонические процессы, так и процессы в магме.

Полученные результаты носят предварительный, качественный характер. Для получения количественных результатов сравним годовичные изменения гравитационных потенциалов, входящих в комплексы G_1, G_2, G_3 , с величиной гидростатического давления на глубине 3 км – рис. 12а. Отметим, что второй и третий комплексы практически не отличаются между собой в этом масштабе, а годовичные изменения всех трех комплексов сравнимы с величиной гидростатического давления. Разумеется, что это лишь потенциальная энергия. Неизвестно, какая доля этой энергии способна аккумулироваться в форме упругих напряжений, однако ясно, что если существует механизм поглощения и накопления этой энергии в форме тектонических напряжений, тогда совокупное влияние Юпитера, Луны и Сатурна способно вызвать сейсмические события не только на глубине 3 км, но даже и на большей глубине.



В некоторых нестационарных процессах, например, в конвекции важны не абсолютные значения параметров, а их изменения во времени

(т.е. их первые производные по времени). На рис. 12 б представлены ежедневные абсолютные изменения трех гравитационных комплексов G_1 , G_2 , G_3 (обозначены GRAV7-GRAV9 соответственно). Отметим, что в этом масштабе комплексы G_8 , G_9 значительно различаются между собой, что обусловлено быстрым движением Луны вокруг Земли по сравнению с относительно медленным движением Юпитера и Сатурна.



В сплошной среде, такой, как магма, могут возникать разрывы, ведущие к образованию пузырьков /12/. Для таких неоднородных включений изменение гравитационного потенциала равносильно изменению внешнего давления. За сутки в магме индуцированное изменение давление составляет в некоторые месяцы 15-20 атмосфер. Таким образом, гравитационное воздействие небесных тел может значительно усиливаться за счет неоднородностей плотности среды, таких как пузырьки и микротрещины.

Достоверность прогноза землетрясений

В сейсмологии широко используются энергетические оценки силы землетрясения, одной из которых является уравнение Гуттенберга-Рихтера /13/:

$$\log_{10} E_s = aMS + b$$

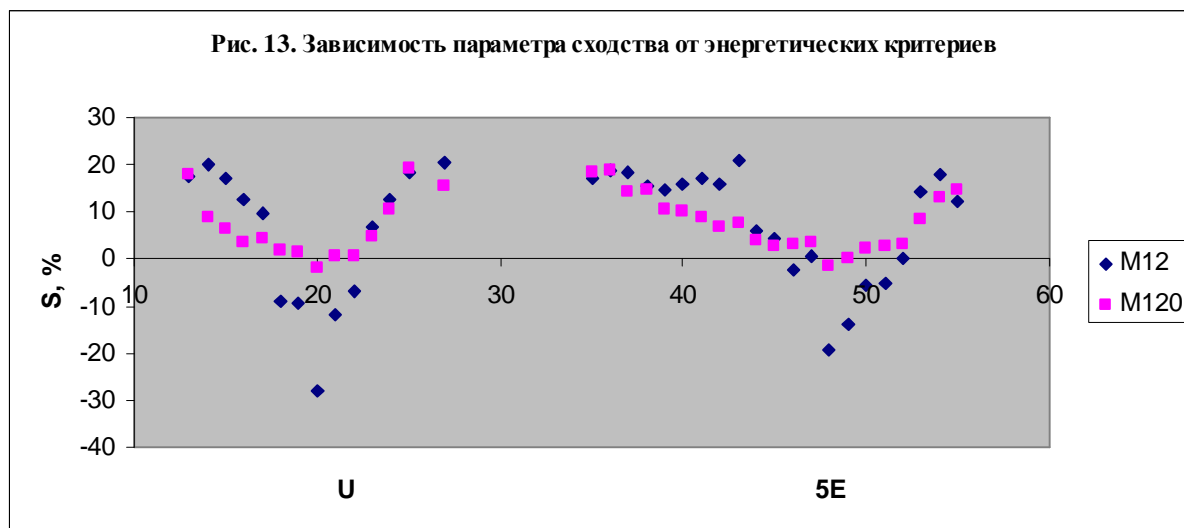
где E_s – сейсмическая энергия в джоулях, $a = 1.5$, $b = 11.8$, MS – магнитуда поверхностных волн. Используя это уравнение можно составить

два энергетических критерия для оценки сейсмической активности на каждый день:

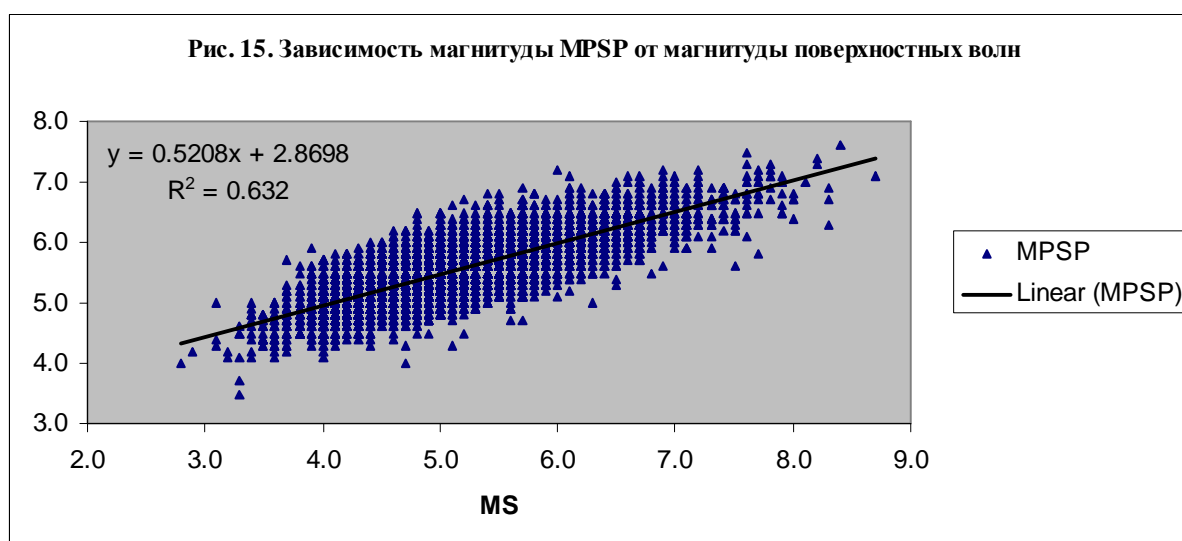
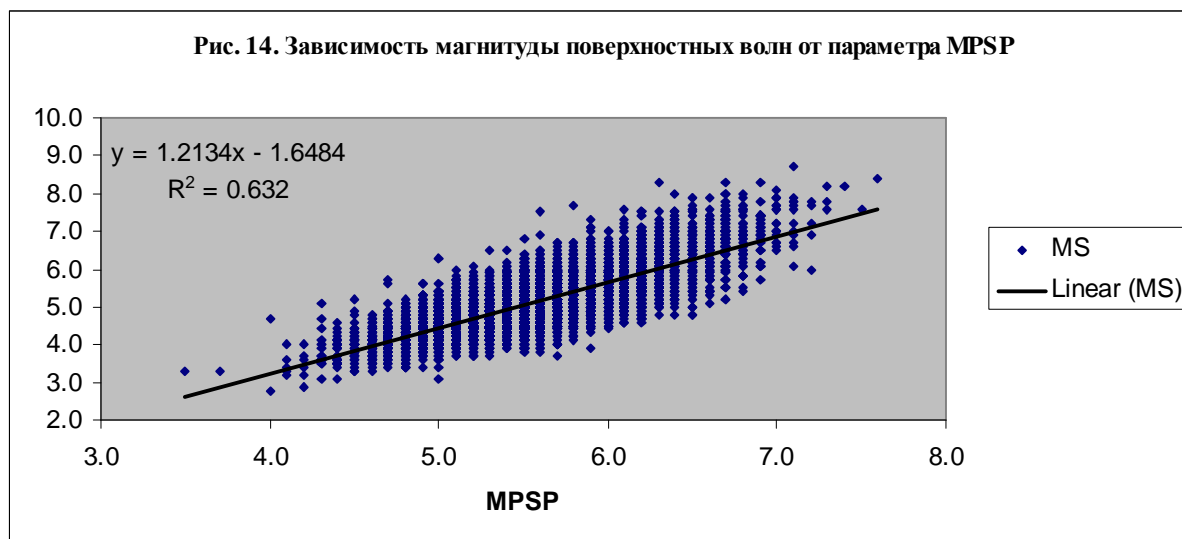
$$E = \ln \sum_i \exp(aMPSP_i)$$

$$U = \ln \sum_i H_i^3 \exp(aMPSP_i) \tag{9}$$

На рис. 13 представлен результат распознавания событий по критериям (9). Параметр сходства при распознавании по энергетическим критериям понизился в 2-3 раза по сравнению с результатом распознавания по критерию магнитуды (8). Это связано с тем, что сейсмические данные не отличаются большой точностью, поэтому их обработка по нелинейным формулам типа (9) понижает достоверность распознавания.



Для иллюстрации степени рассеяния сейсмических данных на рис. 14 представлена зависимость магнитуды поверхностных волн от параметра MPSP, обобщающая 12684 события из каталога /8/. Разброс данных относительно полученной линейной зависимости довольно велик, что означает также высокую степень неопределенности самого параметра MPSP. Действительно, на рис. 15 представлена зависимость магнитуды объемных волн от магнитуды поверхностных волн, обобщающая данные тех же самых 12684 событий из каталога /8/. Можно обратить внимание, что уравнения тренда на рис.10 и 11 не согласованы друг с другом, хотя для их построения использованы одни те же данные.



Высокая степень неопределенности данных магнитуды является ограничением достоверности распознавания событий по этому параметру – см. рис. 2. С другой стороны, *сумма* магнитуды нескольких событий за день, как оказалось, является более достоверным параметром, нежели магнитуда отдельного события, поэтому повышается достоверность распознавания дней с высокими и низкими значениями L – рис. 8. Предположительно это можно объяснить тем, что при суммировании зашумленных сигналов возрастает отношение сигнал/шум, за счет того, что при неограниченном увеличении выборки сумма шума стремится к нулю.

Заметим, что из 65541 записи событий в каталоге /8/ в 30016 случаях положение гипофокуса определено на глубине 33 км. Среди этих событий, имеющих, видимо, отношение к процессам в магме, в 7376 случаях регист-

рировались поверхностные волны. По этим данным можно определить корреляционные зависимости магнитуды поверхностных и объемных волн в виде:

$$MS = 1.2288MPSP - 1.7109, R^2 = 0.6317; H=33 \text{ km.} \quad (10)$$

$$MPSP = 0.5141MS + 2.8968, R^2 = 0.6317; H=33 \text{ km.}$$

Полученные зависимости (10) не согласованы друг с другом и мало отличаются от аналогичных уравнений, представленных на рис. 10-11. Можно согласовать второе уравнение (10) с первым, но при этом значительно понижается достоверность аппроксимации:

$$MPSP = 0.8085MS + 1.3923, R^2 = 0.4208; H=33 \text{ km.} \quad (11)$$

Таким образом, сравнительно низкая достоверность распознавания событий землетрясений по величине магнитуды – см. рис. 2, обусловлена, в том числе, *рассеянием* данных. Тем не менее, полученные результаты позволяют сделать вывод о зависимости некоторых сейсмических процессов от положения, скоростей и ускорений небесных тел.

Выводы

Развита модель прогнозирования землетрясений по астрономическим данным с использованием системы искусственного интеллекта «Эйдос-астра» /6/. В качестве исходных данных модели был использован каталог ГС РАН /8/, содержащий сведения о 65541 событии легких, умеренных и сильных землетрясений. Модель позволяет распознавать дни с высокой и низкой сейсмической активностью для землетрясений с магнитудой $MPSP > 5$ и с глубиной гипофокуса 3, 33 и 545-665 км. Достоверность прогноза по параметру усредненной магнитуды на месяц и на 2-3 дня вперед составляет 20-60% для дней с низкой и высокой сейсмичностью.

Выполнена проверка гипотезы гравитационного влияния небесных тел на сейсмические процессы в коре, магме и зонах субдукции. Установлено, что совокупное гравитационное влияние Юпитера, Луны и Сатурна способно вызвать сейсмические события, хотя детальный механизм этого влияния остается неизвестным.

Авторы выражают благодарность Т.В. Черноглазовой за полезные обсуждения.

Литература

1. 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>
2. Трунев А.П. Теория и прикладные вопросы астросоциотипологии / А.П. Трунев // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2009. – №05(49). – Шифр Информрегистра: 0420900012\0045. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2009/05/pdf/04.pdf>
3. Трунев А. П., Луценко Е. В. Астросоциотипология: Монография (научное издание). – Краснодар: КубГАУ, 2008, – 279 с.
4. 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>
5. 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>
6. 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.
7. 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.
8. Operative Seismological Catalogue// Central Experimental-Methodical Expedition (Obninsk), http://www.wdcb.ru/sep/seismology/cat_OBN.ru.html
9. Данные Национального информационного центра землетрясений (NEIC) при Геологической службе США, <http://earthquake.usgs.gov>
10. Роден Г. Неупругие процессы в сейсмических волнах при подземных взрывах/ Нелинейные волновые процессы: -М.: Мир, 1987. – 296 с.
11. Гатинский Ю.Г., Рундквист Д.В., Владова Г.Л., Мирлин Е.Г., Миронов Ю.В., Рожкова В.В., Соловьев А.А. Зоны субдукции: действующие силы, геодинамические типы, сейсмичность и металлогения // Вестник ОГГГГН РАН, № 2(12), 2000 г, т.1.
12. Кедринский В. К., Давыдов М. Н., Чернов А. А., Такаяма К.. Начальная стадия взрывного извержения вулканов: Динамика состояния магмы в волнах разгрузки // ДАН, 2006, т. 407, №2, с. 190–193.
13. Kanamori H., Anderson D.L. Theoretical basis of some empirical relations in seismology // Bull. Seismol. Soc. Amer. 1975. V. 65. P. 1073-1095.