

УДК 004.9+550.34

А.А. Колдунова, Т.Г. Емельяненко

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

ОБЗОР МЕТОДОВ И ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Зроблено огляд методів прогнозування за різними провісниками землетрусів і програмних продуктів роботи із сейсмічними даними.

Ключові слова: *сейсмічність, провісники, передбачення землетрусів.*

Выполнен обзор методов прогнозирования по различным предвестникам землетрясений и программных продуктов работы с сейсмическими данными.

Ключевые слова: *сейсмичность, предвестники, предсказание землетрясений.*

It was made the review of forecasting methods for various precursors of earthquakes and seismic software.

Keywords: *seismicity, precursors, earthquake prediction.*

Введение. Несмотря на многолетний опыт анализа сейсмических данных учеными геофизики, математики, геоинформатики, астрологии, сейсмологии в области прогноза землетрясений, на сегодняшний день нет ни одного метода, позволяющего на короткий промежуток времени достаточно точно предсказывать разрушительные стихийные бедствия. Поэтому актуальной является задача анализа существующих подходов к прогнозированию сейсмической активности, выделения общих характеристик, достоинств и недостатков используемых программных продуктов и методов, реализованных в них.

Анализ исследований в данной области. Прогноз землетрясений – это вероятностная характеристика места, времени и силы сейсмического события. Прогнозы делятся на следующие виды (стадии): долгосрочный (годы–десятилетия); среднесрочный (месяцы–годы); краткосрочный (дни–недели); оперативный или непосредственный (минуты–часы). На сегодняшний день определенный успех достигнут в области долгосрочных прогнозов. Долгосрочные прогнозы опираются на историю сейсмоактивности на определенной территории, делаются

с помощью статистических и физических методов, карт сейсмического районирования. Но на вопрос, когда может произойти беда и с какой вероятностью, долгосрочные прогнозы не дают точного ответа. Результаты долгосрочных прогнозов могут быть использованы при экономическом планировании городских территорий и промышленных комплексов, возведении гидротехнических, газонефтяных, химических сооружений на сейсмоопасных территориях. Задачу среднесрочного прогноза в определенной мере можно считать также решенной современной наукой. Если на исследуемой территории установлено достаточное количество геофизических устройств, то теоретически землетрясение определенной силы можно спрогнозировать за год-два до сейсмического события. Этого времени достаточно для проверки зданий и обучения населения. Краткосрочное прогнозирование на сегодняшний день считается задачей еще нерешенной. Передачу данных необходимо осуществлять в реальном режиме времени. При удачном построении краткосрочного прогноза можно своевременно остановить производства и эвакуировать население. Возможность непосредственного прогноза вообще отсутствует. Существует много методов прогноза землетрясений, основанных на наблюдении аномалий геофизических полей. Так, большое количество слабых толчков (сейсмическая активность), крупномасштабные деформации поверхности Земли (движение земной коры), поднятие и опускание участков земной коры, изменение наклонов поверхности, изменение деформации горных пород, изменение уровня грунтовых вод, изменение скоростей сейсмических волн, изменение вариаций геомагнитного поля, изменение электрического сопротивления Земли, изменение количества радона в грунтовых водах, необычное поведение животных, птиц, рыб могут свидетельствовать о возможности наступления сильного землетрясения.

Формулировка целей статьи. Целью данной статьи является анализ существующих методов и программных продуктов предсказания землетрясений.

Основной материал исследования. Прогноз землетрясений тесно связан с изучением аномальных явлений в геофизических полях, которые называются предвестниками, их насчитывается несколько сотен. Предвестники возникают в зоне готовящегося сейсмического события накануне его возникновения. Классификация предвестников приведена в таблице.

Классификация предвестников землетрясений

Предвестники землетрясений	
Геологические	<i>Сейсмодислокации:</i> напряженно-деформационное состояние среды, формирование магистральных разрывов, сдвиговых подвижек, раскрытие и визуализация трещин, развитие оползней, склоновых, лавинных, селезневых и других процессов, изменения разрывно-трещинной сети, структурные геологические и геоморфологические изменения, повышение температуры поверхности Земли
Геофизические	<i>Сейсмологические:</i> сейсмические бреши, сейсмические затихья, миграция сейсмичности, рои землетрясений, плотность сейсмологических разрывов, локализация сейсмического процесса, форшоки; <i>деформационные:</i> деформации поверхности Земли, земной коры, плотности пород; <i>электромагнитные:</i> световые явления в атмосфере, возмущение электрического и магнитного потенциалов; <i>геомагнитные:</i> электрокинетические явления (аномалии электромагнитного поля), пьезомагнитные процессы (напряжение земной коры); <i>гравитационные;</i> <i>ионосферные:</i> аномальные увеличения интенсивности – очень низкочастотные и крайне низкочастотные сверхдлинные волны, аномальные изменения спорадических слоев, возникновение диффузных областей, увеличение интенсивностей линий кислорода; <i>гидроакустические;</i> <i>геотермические:</i> изменение температуры подземных вод и почвы
Геохимические	Изменение концентрации газов, изменение химического состава природных вод (увеличение содержания радона, гелия, углекислого газа, водорода, pH в термоминеральной воде), повышение концентрации приземного озона, радона и гелия
Гидродинамические	Пластовые давления подземных вод, предельный объем воды, который можно получать из скважины за час, спонтанного газа, степень освобождения, водопроводимость водоносных горизонтов и трещин зон, повышение радона в атмосфере
Геодезические	Наклоны земной поверхности, движения земной коры
Космические	Электромагнитные, плазменные, ионосферные. Сейсмогенные деформации: сейсмодислокации (линеamentный анализ), сейсмодеформации

Каждый из предвестников может быть как долго-, так и средне- и краткосрочным. К настоящему времени во всем мире насчитывается несколько сотен различных по своей природе предвестников. Проведенный анализ позволил выделить общие характеристики существующих подходов к прогнозированию землетрясений и распределить методы прогнозирования по таким группам: геофизические, геологические, геохимические, гидродинамические, геодезические, космические.

Подготовка землетрясения отражается на геофизических полях: перед землетрясениями и во время их наблюдаются аномальные изменения электрических свойств горных пород, силы тяжести, скоростей сейсмических и акустических волн. Геофизические методы занимают большую часть сейсмологических исследований при прогнозировании землетрясений и считаются классическими. При соблюдении всех условий прогноз землетрясения по многим другим (не геофизическим) критериям возможен только в его эпицентре за короткий срок до основного толчка. Отсюда следует, что альтернативные способы прогнозирования землетрясений имеют важную научную значимость, являясь частью геолого-геофизического комплекса, но не могут быть использованы в качестве самостоятельных методов, что подтверждено многолетней практикой сейсмо-прогностических работ.

В то же время большая часть геофизических предвестников носит интуитивный характер: фиксируется факт наблюдения конкретной аномалии геофизического поля перед конкретным сильным землетрясением, но отсутствуют сведения о статистических характеристиках предвестников; не рассматриваются возможные физически обоснованные механизмы, приводящие к возникновению предвестников.

Исследования по прогнозированию землетрясений привлекли внимание специалистов различных областей, не обладающих достаточными знаниями сейсмологии. Поиск предвестников землетрясений зачастую осуществляется без всякой системы и не имеет физической и сейсмологической основы. Р. Геллер критикует многие работы, ставя под сомнение их научную ценность из-за отсутствия точных определений: много расплывчатых высказываний сейсмологов и геофизиков расцениваются ими как прогноз землетрясений, но мало систематических исследований, посвященных определениям и собственно прогнозу.

Часто к проблеме прогноза подходят как к задаче восстановления временного ряда моментов землетрясений, а не как к задаче о прогнозе катастрофы, т.е. о переходе через критический порог. Пренебрежение основами теории вероятностей и математической статистики нередко приводит к необоснованным выводам.

Другим одним из основных недостатков существующих методов и подходов является то, что в разных регионах различные предвестники работают по-разному, давая большой разброс в оценках места, времени и силы будущего землетрясения.

Значительную сложность при определении места очага будущего землетрясения по наблюдениям за предвестниками представляет собой большой ареал их распространения: расстояния, на которых наблюдаются предвестники, значительно превышают размеры разрыва в очаге. При этом краткосрочные предвестники наблюдаются на больших расстояниях, чем долгосрочные, что подтверждает более слабую их связь с очагом.

Существующие *программные продукты* обработки и анализа сейсмологических данных можно распределить по следующим группам в зависимости от типа решаемых задач.

1. Мониторы

К этой группе относятся такие продукты, как: проект «Экстремум» для прогнозирования последствий землетрясения (включает комплект программ, который дает возможность хранить, систематизировать и обрабатывать картографическую и семантическую информацию, прогнозировать последствия землетрясений в городах и населенных пунктах, а также обосновывать эффективные сценарии реагирования в пострадавшем регионе); Earth Alerts|Version 2011 – сейсмический монитор, работающий в режиме реального времени, может встраиваться в любой сайт и работать автономно. Большая часть продуктов работает и настраивается для конкретного района.

2. Программы чтения-записи

В настоящее время разработаны конверторы (программы-преобразователи) для следующих широко распространённых форматов представления сейсмических данных: XDATA – формата записей пунктами наблюдений радиотелеметрической системы NANOMETRICS; PCC-1 – формата записей пунктами наблюдений радиотелеметрической системы PCC; Css версий 2.8 и 3.0 – формата записей, разработанных для проведения технического эксперимента группой научных экспертов Конференции по разоружению в Женеве

(ТЭГНЭ-2 и ТЭГНЭ-3); DASS – формата записей для цифровых станций НПП «Геотех»; SM6 GSE2 – формата записей для сейсмических данных, распространяемых по запросам AutoDRM; PECATOS4 – преобразование файлов бюллетеней, получаемых НУРО71-91, в формат каталогов землетрясений.

Чтобы облегчить перемещение данных от одного обрабатывающего подрядчика к другому, международное общество прикладной геофизики SEG (Society of Exploration Geophysicist) сначала разработало формат SEG-X для обмена (eXchange) данными. Но он вскоре был заменен форматом SEG-Y, являющимся форматом с последовательно расположенными трассами (или демультимплексный), разработанным для хранения полностью или частично обработанных сейсмических данных.

ARCOPY – программный комплекс, предназначенный для перезаписи сейсмических данных различных форматов, применявшихся в СНГ (СЦС-3, СОС-ПС, СОС-Сайбер, SEG-B, SEG-D, ССЦ-2,3,4) и других (в том числе упакованных), с архивных магнитных лент (1/2 дюйма) на картриджи большой емкости, преобразования данных в формат SEG-Y.

Другие пакеты для работы с форматом SEG-Y: GSEGYView, SegyMAT, SegyPY, segy-py, SeiSee (также форматы CWP/SU и CGG CST), SeisView.

WSG осуществляет импорт данных по TCP/IP-протоколу из систем NRTS и LISS (формат миниSEED – Steim 2).

3. Визуализация, интерпретация, анализ

Астропроцессор ZET GEO – универсальная астрологическая программа, которая может быть использована при краткосрочном прогнозировании землетрясений [4].

Методика и программа оптимального проектирования геодезических профилей для наблюдений за активными разломами земной коры, разработанная Институтом прикладной математики во Владивостоке, позволяет автоматически осуществить выбор оптимального числа и расположения в пространстве геодезических пунктов, предназначенных для GPS-наблюдений за активными разломами земной коры. Язык программирования – FORTRAN [5].

Тем же институтом разработана методика и программа строгой математической обработки свободных и несвободных плановых геодезических сетей, позволяющая уравнивать плановые линейно-угловые геодезические сети любой конфигурации с полной оценкой точности ее элементов, фиксировать систему координат любым

набором квазистабильных или стабильных пунктов, осуществлять поиск грубых ошибок измерений по поправкам из уравнивания. Язык программирования – FORTRAN [5].

Основные вычислительные процедуры WSG (Windows Seismic Grafer) предназначены для обработки сейсмических сигналов и получения оценок параметров гипоцентров сейсмических событий [6].

HYPO71-91 – консольная программа для расчёта основных параметров землетрясения по первичным данным обработки HYPO71-91 [7].

Математическое обеспечение анализа землетрясений – SEISAN для IBM PC и SUN компьютеров состоит из полного набора программ и простой базы данных для анализа данных о землетрясениях в аналоговой и цифровой форме [8].

Tesseral Technologies Inc. – программный пакет конечно-разностного моделирования сейсмического волнового поля [9].

Tatra Seis Inc. – программный пакет обработки сейсмических данных для поиска вертикальных границ с помощью технологии миграции дуплексных волн [9].

Madagascar – многомерный анализ данных, включающий обработку сейсмичности [10].

CWP/SU (Seismic Un*x) – сейсмический пакет с открытым исходным кодом сейсмических утилит, наиболее широко использующийся в мире (69 стран и территорий) [11].

Другие бесплатные программы обработки: FreeUSP [12], FreeDDS (общие форматы – SEG Y, SU, SEPlib, USP) [12], PSEIS_OSS (параллельная обработка сейсмических данных общих форматов – SEG Y, SU, SEPlib, USP, Madagascar) [14], CPSeis [17], SPARC [12], SEPlib [16], BotoSeis [17] и GeBR (интерфейсы с SU, Madagascar и другие возможности) [18], SeaSeis (обработка SU-данных, SEG-D – ридер, SEG Y ввод/вывод и другие возможности) [15], GPLib++ (сейсмические и магнитотеллурические обработки) [17], JavaSeis (предварительный стек для ввода/вывода сейсмических данных; обработка сейсмических данных в Eclipse) [17], Seismic Lab [19], CREWES [20], SW3D [21], PyShottab, Seismon [22], Seismic_Handler [23], STK [17].

Рассмотрим некоторые бесплатные анализаторы. В основе программного продукта Delivery лежит Байесовский метод инверсии, предусматривающий обеспечение оценки с погрешностью, которая обеспечивает преимущества для разработчиков моделей [24]. Геологический ресурс JRG является пакетом обработки и визуализации сейсмических данных на Java с качественной графикой (возможность 3-D

и 2-D), SEG-Y и звуковым файлом ввода/вывода [25]. Jive3D представляет собой пакет моделирования и томографической инверсии, способный моделировать сейсмические типы данных в широком временном диапазоне [26]. Программа WaveletExtractor позволяет извлекать оптимальные всплески от сейсмических, каротажных данных и каротажа (время–глубина) информации, может производить: оценки неопределенности для всплесков, информацию время–глубина, уровень шума для оценки сейсмической инверсии [28]. SLIMpy написана на чистом Python, предоставляет возможности обработки сейсмических данных пакетов, таких как Мадагаскар, через перегрузку операторов [27]. Возможности обработки данных проекта SEIZMO включают корреляционный анализ (correlation), свертки (convolution, deconvolution), удаление тренда (detrending), дифференцирование (differentiation), интегрирование (integration), интерполяцию (interpolation), изменение частоты дискретизации (resampling), фильтрацию (filtering), слияние (merging), ответ переноса (response transferring), вращение (rotation), укладки (stacking), спектральный анализ (spectral analysis), конусообразование (tapering) и оконный анализ (windowing) [28]. GeoSeis используется для расчета параметров из преломленного сейсмического сигнала [29]. Passeis позволяет проводить пассивный сейсмический анализ [30].

Программы отображения сейсмических сигналов: Mines ЛТК (обработка и отображение сигнала) [31], kogeо (включает в себя геофизический анализ и визуализацию) [32], SIOSEIS представляет собой программный пакет для расширения функциональности и управления, отражения морской сейсмичности и преломления данных [33], Landmark SeisWorks® 3D решает задачи визуализации, анализа и интерпретации сейсмических 3D данных, программный комплекс mech-Lander используется для построения (визуализации) очагов землетрясений.

4. Прогнозирование

Рассмотрим программные продукты, позволяющие выполнять прогнозирование сейсмической активности в контексте методов, лежащих в их основе.

Специалисты и ученые географического факультета Московского государственного университета на данный момент работают над новой задачей с применением нейросетей – так называемых самоорганизующихся карт Кохонена, предложенных финским ученым Теуво Кохоненом в 1984 году, на сегодняшний день являющихся самым популярным алгоритмом искусственных нейронных сетей в неконтролируемой категории

обучения; представляют собой соревновательную самообучающуюся нейронную сеть с обучением без учителя, выполняющую задачу визуализации и кластеризации с использованием следующих критериев для получения прогнозов: широтное распределение сейсмической активности, астрономические характеристики [34].

В 70-х годах В.Н. Вапником был предложен алгоритм «Фортран обобщенный портрет» (ФОП). Идея алгоритма заключается в восстановлении зависимостей по эмпирическим данным, в основе которых лежит задача распознавания – задача идентификации периодов повышенной сейсмоопасности с помощью построения гиперплоскости, разделяющей пространство заданных признаков. Программно-алгоритмический комплекс включает в себя программы для решения задач: обучения распознаванию образов, восстановления регрессии, интерпретации результатов косвенных экспериментов [35].

Система прогноза ионосферных данных на основе нейронной сети (разработана в Институте космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН Ю.А.Полозовым и О.В.Мандриковой) базируется на совместном применении конструкции вейвлет-преобразования и нейронных сетей. Для обучения сети использовались преобразованные с помощью вейвлет-разложения четвертого уровня сигналы сейсмически спокойных лет. В основу сети была положена трехслойная сеть прямой передачи сигнала с двумя сигмоидальными и одним линейным слоями [36].

Као Динь Чонг (работа выполнена в Российском университете дружбы народов) в своей работе применил нейросетевые технологии, используя функции Гуттенберга – Рихтера для определения сейсмической активности; в качестве сети выбрана Feedforward Back Propagation с обратным распространением ошибки для среднесрочного прогноза землетрясений на основе сравнительного анализа различных типов нейронных сетей [37].

В Институте космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН Ю.А.Полозовым и О.В.Мандриковой предложен алгоритм для вычисления функции принадлежности сейсмогенерирующих факторов к нечетким подмножествам факторов влияния на сейсмическую активность, позволяющий повысить точность решения задач прогнозирования; предложена модель прогнозирования, которая позволяет строить прогнозы для локального участка земной коры, разработанная на основе математического аппарата нечетких множеств и нечеткой логики [38].

Институтом космофизических исследований и распространения радиоволн разработана программа для вычисления вероятностей сейсмических событий, которая реализует вероятностную модель интерпретации каталога землетрясений. Позволяет представить сейсмический режим в виде интегральных функций распределения или функций плотности распределения вероятностей, на основе которых строится вероятностная модель сейсмичности [5].

Геоинформационная система Prediction (работа выполнена в Институте земной коры СО РАН в Иркутске Е.А.Лавиной) для прогноза землетрясений и горных ударов: разработка и примеры применения на конкретных территориях – в Байкальской рифтовой зоне и Норильском месторождении [39].

TRON – онлайн-технология системного прогнозирования землетрясений в режиме реального времени. Для математического и статистического анализа используется единая БД о поведении домашних птиц, рыб и зверей, наполняемая пользователями сети Интернет (лидер команды – Б.Д.Яровой, Центр информационных технологий, г. Владивосток) [13].

В 2009 году начала функционировать в режиме краткосрочного прогнозирования землетрясений и оперативной передачи этой информации странам – участникам Global Network for the Forecasting of Earthquakes (владельцы станций ATROPATENA). В основу торсионного детектора трехмерных гравитационных вариаций положен эффект трехмерного изменения гравитационного поля перед сильными землетрясениями на очень больших расстояниях от эпицентра землетрясений [40].

Выводы. Различные возможности и границы применения компьютерной техники и разработки компьютерных систем определяются уровнем формализации научно-технических знаний в конкретной отрасли. Чем глубже разработана теория, тем большие возможности существуют для создания и внедрения программного обеспечения обработки данных. Несмотря на большое количество и разнообразие методов и программных продуктов в области прогнозирования землетрясений, до недавнего времени не существовало математического обеспечения, позволяющего делать краткосрочный прогноз, так как не существовало теоретических методов, дающих возможность сделать такой прогноз, который бы с высокой долей вероятности реализовывался. На сегодняшний день проблема предсказания землетрясений остается открытой.

Библиографические ссылки

1. **Карцева М.В.** Анализ предвестников землетрясений / М.В. Карцева, А.Т. Зверев // Изв. ВУЗов. «Геодезия и аэрофотосъемка», МИИГАиК, Москва. – 2006. – №5. – С.125—133.
2. **Завьялов А.Д.** Среднесрочный прогноз землетрясений: основы, методика, реализация. / А.Д. Завьялов; Ин-т физики Земли им. О.Ю. Шмидта. – М.: Наука, 2006. – 254 с.
3. **Уломов В.И.** Методика поиска прогностических признаков землетрясений / В.И. Уломов // Информационное сообщение АН УзССР. – 1977. – №186. – 11 с.
4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zet.astrologer.ru/>.
5. **Кульчин Ю.Н.** Научно-технические разработки ДВО РАН для практического использования в социально-экономической сфере / Ю.Н.Кульчин. – Владивосток, 2011. – С. 63–64, 75.
6. Официальный сайт ГС РАН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ceme.gsras.ru>.
7. Official site of School of EAS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eas.gatech.edu/>.
8. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://seis.geus.net/software/seisan/seisan.html>.
9. Official site of Tesseral Technologies [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tesseral-geo.com/>.
10. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://reproducibility.org>.
11. Official site of Center for Wave Phenomena [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cwp.mines.edu/>.
12. Official download site for FreeUSP and FreeDDS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://freeusp.org/>.
13. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tron.ru/AINUR/>.
14. Official site of Pseis-OSS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pseis.org/>.
15. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://seaseis.com/>
16. Official site of The Stanford Exploration Project [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://serpwww.stanford.edu/>.
17. Official site of Source Forge [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sourceforge.net/>.
18. Official site of GêBR <http://www.gebrproject.com/> [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gebrproject.com/>.
19. Official site of University of Alberta [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ualberta.ca/>.
20. Official site of CREWES [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.crewes.org/>.
21. Official site of Charles University in Prague [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cuni.cz/>. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.stefanmertl.com/science/software/seismon/>.

22. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.seismic-handler.org/>.
23. Official site of Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.csiro.au/>.
24. Official site of University of Nevada, Reno [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.unr.edu/>.
25. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bullard.esc.cam.ac.uk/~hobro/Jive3D>.
26. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://slim.eos.ubc.ca/SLIMpy>.
27. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://epsc.wustl.edu/~ggeuler/codes/m/seizmo/>.
28. GeoSeis Software 2011 © [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.geoseis.tr.gg>.
29. **Haishan Z.** An Open-Source Passive Seismic Data Processing and Visualization Package: Passeis / Haishan Zheng, Leiv-J., Gelius // *Frontiers + Innovation – 2009 CSPG CSEG CWLS Convention* // P.408–411.
30. Official Site of the Colorado School of Mines [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mines.edu/>.
31. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kogeo.de>.
32. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sioseis.ucsd.edu/>.
33. **Kohonen T.** *Self-Organizing Maps (Third Extended Edition)*, NY, 2001 – 501p..
34. **Вапник В.Н.** Алгоритмы и программы восстановления зависимостей. М.: ФИЗМАТЛИТ, 1984. - 816 с.
35. **Мандрикова О.В.** Анализ изменений, происходящих в ионосферных параметрах накануне сильных землетрясений на Камчатке, на основе вейвлет-преобразования сигналов критической частоты / О.В. Мандрикова, В.В. Богданов, Ю.А. Полозов // *Proc. of SCM'2007 (International Conference on Soft Computing and Measurements)* // Сб. докл. С.-Петербург, 27-29 июня 2007 г. / СПб: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2007.
36. **Чонг Као Динь** Исследование и применение нейросетевых технологий в задаче прогнозирования землетрясений (на примере северо-западного района Вьетнама): автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.13.01 / Као Динь Чонг. – М., 2012
37. **Мандрикова О.В.** Автоматизированный способ обработки сигналов со сложной структурой / О. В. Мандрикова, Ю. А. Полозов // *Информационные технологии.* – 2008. – № 12. – С. 15–19.
38. **Левина Е. А.** ГИС для прогноза землетрясений и горных ударов: разработка и примеры применения в Байкальской рифтовой зоне и Норильском месторождении: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. геол.-минерал. наук / Е.А. Левина. – Иркутск, 2011.
39. Официальный сайт Глобальной Сети Прогнозирования Землетрясений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://seismonet.org/index.html>.

Надійшла до редколегії 12.07.2013 р.