

УДК 550.34; 537.86/.87:530.182

А.Ж. Наурзбаева*, С.А. Хохлов, Б.Ж. Медетов

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы

E-mail: Aisha.Nuryzbaeva@kaznu.kz

Выявление предвестников землетрясений по сигналам от сейсмической активности методом информационно-энтропийного анализа

Аннотация. С помощью новых методов анализа хаотических сигналов, разработанных в рамках нелинейной физики, исследованы особенности сейсмических временных рядов в периоды до, во время и после землетрясений с целью поиска их предвестников. Получен интересный результат о том, что за некоторое время до всех исследованных землетрясений нашего региона наблюдается увеличение энтропии по сравнению со спокойными периодами, причем, если для землетрясений с небольшими магнитудами этот рост мал, то для более крупных землетрясений он весьма заметен. Исследования проводились на базе данных, предоставленных Сейсмологической опытно-методической экспедицией КН МОН РК.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмический временной ряд, энтропия, обобщенная метрическая характеристика

Введение

Актуальность проблемы исследования землетрясений с целью поиска путей их прогнозирования не вызывает сомнений, особенно для нашего региона с его развитой урбанизацией и тревожной сейсмической обстановкой. В настоящее время уже известно большое количество разного рода явлений – предвестников сильных землетрясений, наблюдаемых перед ними [1-9], например, аномальное поведение животных, свечение в атмосфере, возрастание потока тепловых нейтронов, изменения в ионосфере, колебания электромагнитного поля, аномальные изменения в различных геофизических полях, в том числе увеличение разброса значений их параметров, изменения уровня грунтовых вод и их химического состава, деформация земной поверхности, изменение сейсмического режима и т.д. Однако, несмотря на это, надежного метода прогно-

за землетрясений до сих пор не существует. Это объясняется сложным характером взаимосвязи всех этих явлений с землетрясениями, из-за чего они не регистрируются во всех без исключения землетрясениях, в то же время они могут наблюдаться и в отсутствие землетрясений.

Кроме того, явления-предвестники трудно отличить от фоновых вариаций полей из-за хаотического характера динамики сейсмоактивных разломов. Действительно, в системе разломов действует много создающих сильную неустойчивость механизмов, которые, накладываясь друг на друга, превращают литосферу в хаотическую нелинейную систему [10]. Поэтому наиболее эффективным методом для определения идентификационных признаков предвестников землетрясений может быть именно нелинейный анализ сейсмических данных. Этому и посвящена настоящая работа.

Методика исследования

Для поиска предвестников землетрясений методом информационно-энтропийного анализа нами использовались цифровые сейсмограммы 7 крупных землетрясений нашего региона, представленные нам Сейсмологической опытно-методической экспедицией (СОМЭ) КН МОН РК: магнитудой 5.4 М, произошедшего в Луговом 22.05.2003 г.; магнитудой 5.9 М, произошедшего 09.10.2007 г.; магнитудой 6.6 М, произошедшего 10.05.08 г. в Кыргызстане; магнитудой 5.4 М, произошедшего 20.04.2010 г.; магнитудой 6.3 М, произошедшего 13.06.2010 г.; магнитудой 3,9 М, произошедшего 27.09.2010 г.; магнитудой 5.9 М, произошедшего 01.05.2011 г. вблизи г. Алматы.

На рис. 1, 2 для примера представлены сейсмограммы двух из этих землетрясений, записанные на сейсмической станции СОМЭ в Кураме.

С целью поиска предвестников этих землетрясений цифровые сейсмограммы подвергались следующей обработке. В спокойные периоды, в периоды до, во время и после землетрясения из сейсмограммы вырезались отрезки длительностью, равной длительности самого землетрясения, затем для каждого из них рассчитывалась нормированная энтропия Шеннона и обобщенная метрическая характеристика [11]. Отрезки были пронумерованы таким образом, чтобы тот из них, который соответствует самому землетрясению, имел нулевой номер.

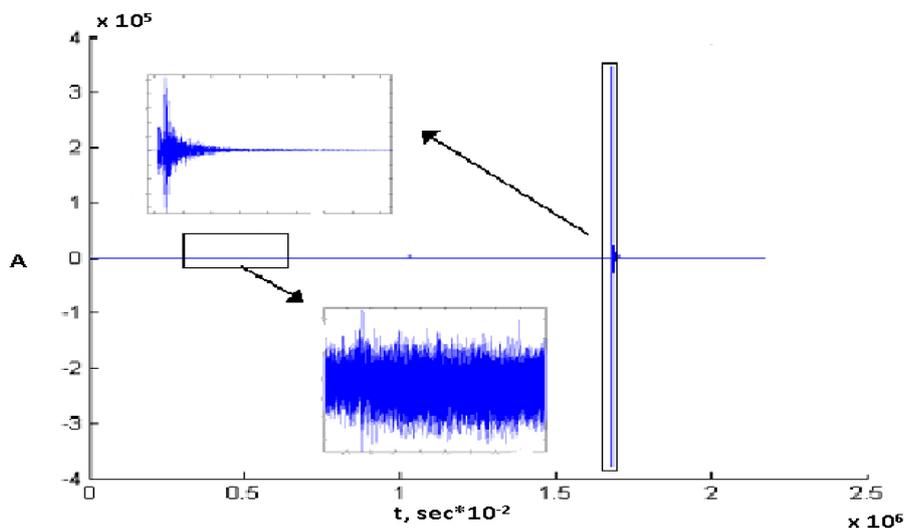


Рисунок 1 – Сейсмограмма землетрясения магнитудой 6.6 М, произошедшего 10.05.08 г. в Кыргызстане, записанная на сейсмической станции СОМЭ в Кураме для вертикальных волн

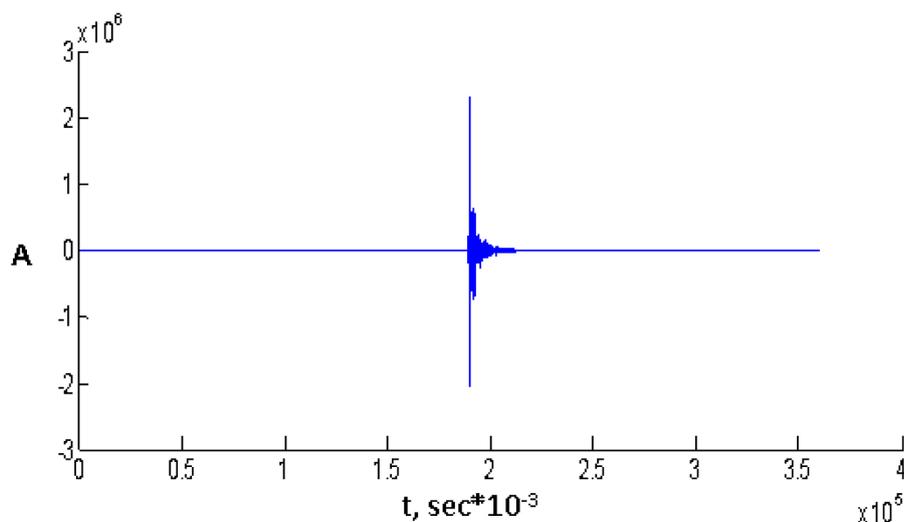


Рисунок 2 – Сейсмограмма землетрясения магнитудой 5.9 М, произошедшего 01.05.2011 г. записанная на сейсмической станции СОМЭ в Кураме для горизонтальных волн (составляющая e)

Результаты и их обсуждение

Результаты проведенного исследования, а именно, энтропийно-метрические диаграммы (т.е. зависимости нормированной энтропии Шеннона от обобщенной метрической характери-

стики) сейсмических временных рядов и изменение энтропии сигнала от сейсмической активности во времени для крупных землетрясений нашего региона с различной магнитудой представлены на рисунках 3– 6.

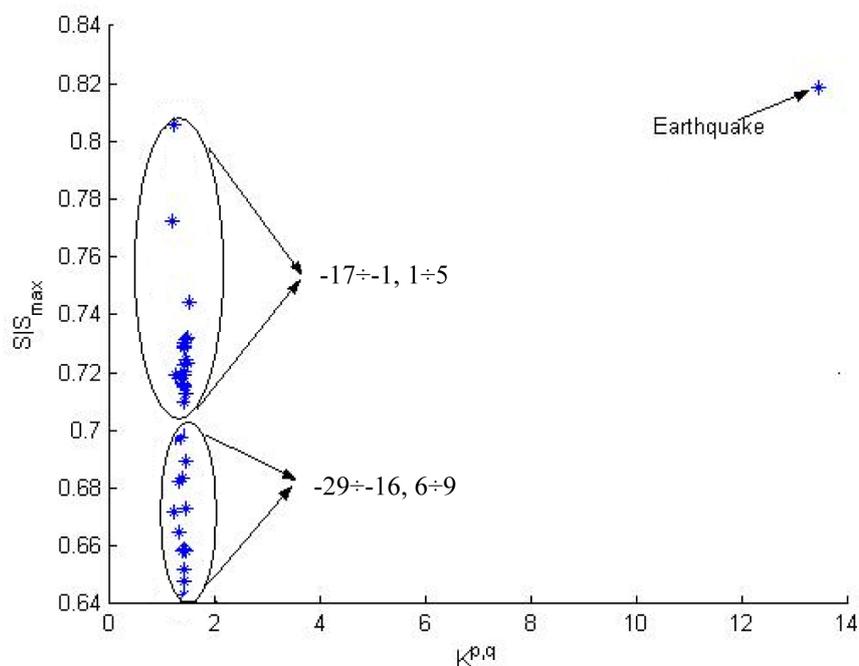


Рисунок 3 – Метрико-топологическая диаграмма сейсмограммы землетрясения магнитудой 6.6 М, произошедшего 10.05.08 г. на границе с Кыргызстаном, по записи на сейсмической станции СОМЭ в Кураме

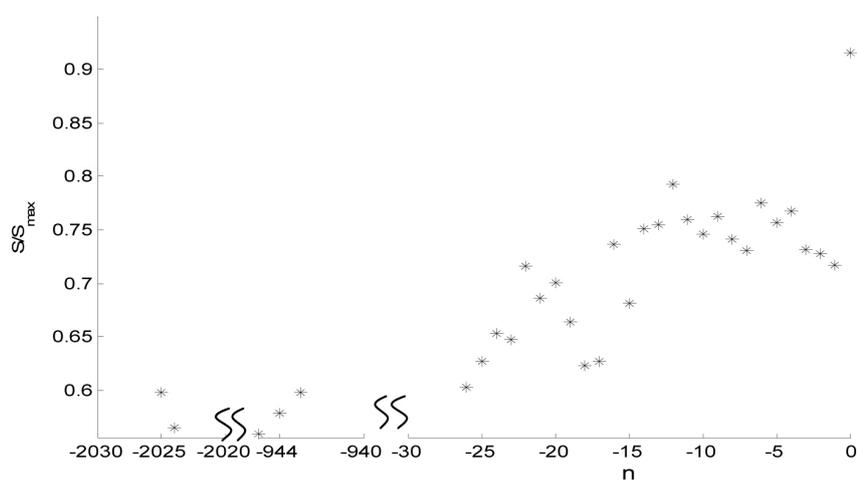


Рисунок 4 – Изменение энтропии цифровой сейсмограммы для землетрясения магнитудой 6.3 М, произошедшего 13.06.2009 г., записанной на сейсмической станции СОМЭ в Кураме для горизонтальных волн (составляющая e)

Из рисунков видно, что во время землетрясений сигналы от сейсмической активности имеют значения энтропии и обобщенной метрической характеристики, лежащие в области самооргани-

зации [12], т.е. землетрясения являются процессом самоорганизации открытой системы Земля.

Однако еще более интересным представляется следующий результат. Видно, что за некоторое

время (за полчаса – час) до исследованных землетрясений наблюдается увеличение энтропии по сравнению со спокойными периодами, через некоторое время после землетрясения энтропия возвращается к прежнему уровню, при этом для землетрясений с небольшими магнитудами этот рост мал (см. рис. 3.8-3.9, на котором представлены результаты для землетрясения магнитудой 3.9 М, произошедшего 27.09.2010г.), а для более крупных землетрясений он весьма заметен и стабилен. Не совсем стабильный рост энтропии перед произошедшим 13.06.2009 г. землетрясением магнитудой 6.3 М (хотя рост энтропии перед землетрясением и в этом случае четко прослеживается, наблюдаются ее кратковременные скачки

как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения) может объясняться тем, что анализ проводился по данным станции, довольно удаленной от эпицентра землетрясения (данных от более близкой к эпицентру станции в нашем распоряжении, к сожалению, не было). Отметим также, что иногда в спокойные периоды происходят кратковременные (длительностью в 2-3 минуты) и небольшие увеличения энтропии, которые могут быть связаны со слабыми толчками, происходящими в это время, однако в этих случаях энтропия быстро возвращается к своему прежнему значению, тогда как перед крупными землетрясениями энтропия остается на стабильно высоком уровне по крайней мере, в течение получаса.

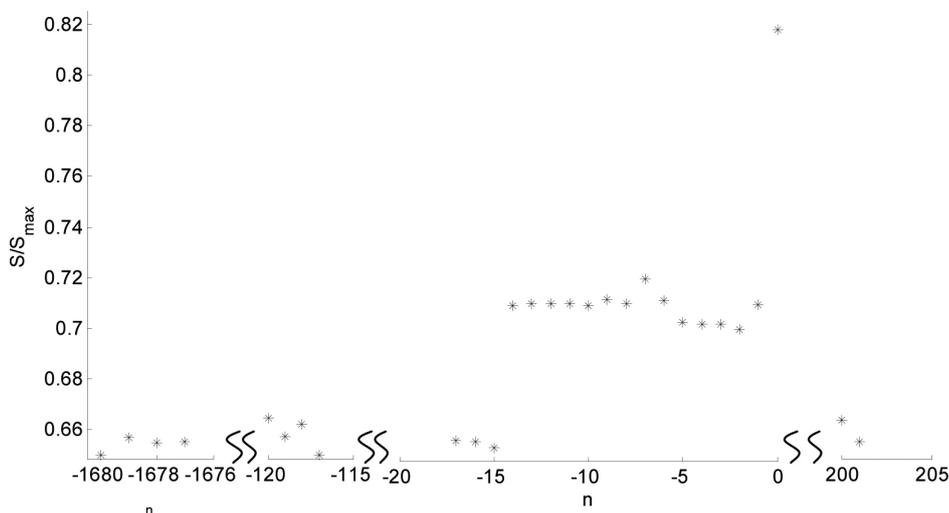


Рисунок 5 – Изменение энтропии цифровой сейсмограммы для землетрясения магнитудой 5.9 М, произошедшего 20.04.2010 г., записанной на сейсмической станции СОМЭ в Кураме

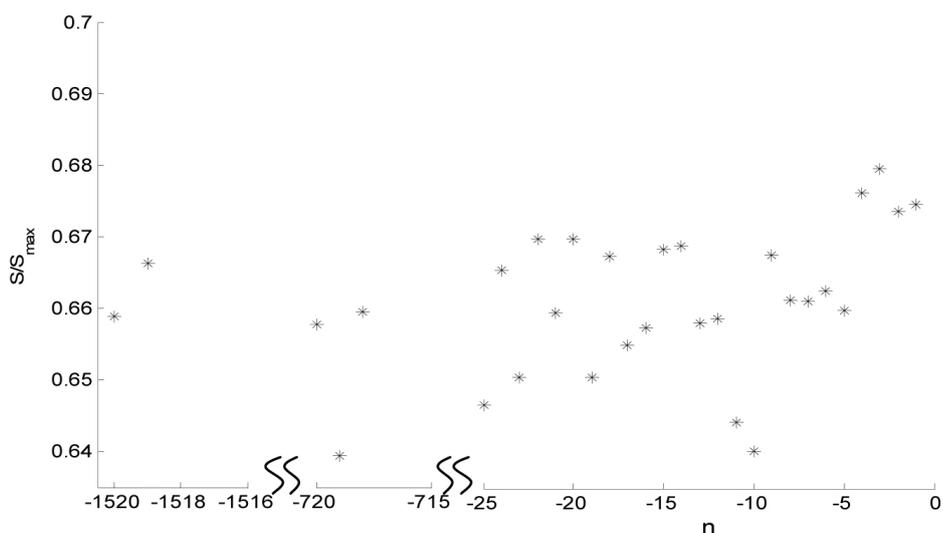


Рисунок 6 – Изменение энтропии цифровой сейсмограммы для землетрясения магнитудой 3.9 М, произошедшего 27.09.2010 г., записанной на сейсмической станции СОМЭ в Сагы

Заключение

Таким образом, результаты настоящей работы показывают, что за некоторое время до заметных землетрясений нашего региона наблюдается увеличение энтропии по сравнению со спокойными периодами, причем, если для землетрясений с небольшими магнитудами этот рост мал, то для более крупных землетрясений он весьма заметен. С учетом того, что количество землетрясений, для которых этот результат подтверждается, составило семь из семи рассмотренных, данное направление исследований представляется очень перспективным с точки зрения поисков предвестников крупных землетрясений. Поэтому планируется проведение дальнейших, более детальных исследований с, возможно, последующей разработкой методики автоматического расчета энтропии сейсмического временного ряда в режиме on-line.

Литература

- 1 Моргунов В.А., Здоров А.Г., Степанов М.В., Мальцев С.А., Данилов В.И. Электромагнитные предвестники и краткосрочный прогноз землетрясений // Исследования в области геофизики. –М.: ОИФЗ РАН, 2004. –С.109-118
- 2 Yasunaga S. Method and equipment for prediction of volcanic eruption and earthquake // Pat. 5241175 USA. 1993.
- 3 Шестопапов И. П., Харин Е. П. О связи сейсмичности земли с солнечной и геомагнитной активностью // Сборник докладов III международной конференции "Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений", 16-21 августа, 2004 г.
- 4 Бузевич А.В., Смирнов С.Э. Метод прогноза камчатских землетрясений по вариациям геомагнитного и атмосферного электрического полей Земли на фоне гелиомагнитосферных процессов // Проблемы геодинамики и прогноза землетрясений, Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН.- 2001.- с. 179-186.
- 5 Попандопуло Г. А., Баскута Я. Закономерности временных вариаций сейсмических параметров и возможность предсказания сильных землетрясений на территории греции // Физика Земли. – № 11. Ноябрь. –2011. –С. 27-48
- 6 Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 314 с.
- 7 Завьялов А.Д. Среднесрочный прогноз землетрясений: основы, методика, реализация. М.: Наука, 2006.- 254 с.
- 8 Keilis-Borok V., Shebalin P., Gabrielov A., and Turcotte D. Reversal Detection of Short-Term Earthquake Precursors // Physics of The Earth and Planetary Interiors. 2004. V. 145. P. 75–85.
- 9 Varnes D.J. Predicting earthquakes by analyzing accelerating precursory seismic activity// Pure Appl. Geophys.- 1989. V.- 130.- P. 661–686.
- 10 Keilis-Borok V.I., Soloviev A.A. Nonlinear dynamics of the Lithosphere and Earthquake Prediction. Springer. –2003. –330p.
- 11 Жанабаев З.Ж. Обобщенная метрическая характеристика динамического хаоса / Мат. VIII межд. школы «Хаотические автоколебания и образование структур». –Саратов, 2007. –С. 67-68.
- 12 Жанабаев З.Ж., Алимгазинова Н.Ш., Бейсебаева А.С., Наурызбаева А.Ж. Энтропийно-метрические характеристики астрофизических сигналов // Мат. 19-й межд. Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». – Севастополь, 2009. - С. 935-936.

А.Ж. Наурызбаева, С.А. Хохлов, Б.Ж. Медетов

Жер сілкіністерінің алдын ала білдірушілерін сейсмикалық белсенділігінің сигналдары бойынша информациялы-энтропиялық талдау әдісімен айқындау

Жер сілкіністерінің алдын ала білдірушілерін іздеу мақсатында бейсызық физика шеңберінде дамытылған хаостық сигналдарды талдаудың жаңа әдістері көмегімен сейсмикалық уақыттық қатарлардың жер сілкіністеріне дейінгі, олар кезіндегі және олардан кейінгі ерекшеліктері зерттелген. Біздің аумықтың жер сілкіністері алдында энтропияның тынық мерзімдерге қарағандағы өсуі бақыланатыны және де магнитудалары төмен жер сілкіністері үшін бұл өсу аз болса, ірі зілзалалар үшін ол айтарлықтай болатыны көрсетілген. Зерттеу ҚР БҒМ ҒК-ң Сейсмологиялық тәжірибелік-әдістемелік экспедициясы берген мәліметтер негізінде жүргізілді.

Түйін сөздер: жер сілкінісі, сейсмикалық уақыттық қатар, энтропия, жалпыландырылған метрикалық сипаттама.

A.Zh. Naurzbaeva, S.A. Hohlov, B.Zh. Medetov

Identification of earthquake precursors by signals of seismic activity via the method of information-entropic analysis

We have studied singularities of seismic time series for the periods before, during and after the earthquakes due to search their precursors. We have used the new methods for analysis of chaotic signals developed in nonlinear physics. It was shown that entropy of a part of seismic signals increases in comparison with quiet periods before all earthquakes under examination observed in our region. It is necessary to notice that the increasing of entropy is relatively small for earthquakes with small magnitudes, and growths with increasing of magnitude of an earthquake. The studies were fulfilled on the basis of data provided by the Seismological experimental-methodical expedition of CS MES of RK.

Keywords: earthquake, seismic time series, entropy, generalized metric characteristic