

А.Ж. Наурзбаева, Н.Ш. Алимгазинова, Б.Ж. Медетов, А.А. Алибек,
А.Б. Манапбаева

Казахский Национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

ЭНТРОПИЙНЫЙ АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ОТ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

Аннотация. Проведен информационно-энтропийный анализ цифровых сейсмограмм нескольких крупных землетрясений нашего региона, предоставленных нам Сейсмологической опытно-методической экспедицией КН МОН РК. **Получено, что** перед всеми исследованными землетрясениями по записям достаточно близколежащих к эпицентрам толчков станций наблюдается предвестник в виде значительного изменения энтропии по сравнению с невозмущенными периодами.

Ключевые слова: предвестники землетрясений, информационная энтропия, анализ сигналов

Введение

Известно, что в системе сейсмоактивных разломов действует много создающих сильную неустойчивость механизмов, которые, накладываясь друг на друга, превращают литосферу в хаотическую нелинейную систему [1]. Это приводит к тому, что уже известные явления - предвестники крупных землетрясений [2-5], такие как аномальные изменения, в различных геофизических полях, становится трудно отличить от фоновых вариаций этих полей, и является одной из причин того, что до сих пор не создано сколько-нибудь надежного метода прогноза землетрясений. Учитывая хаотический характер динамики сейсмоактивных разломов, эффективным для исследования особенностей сейсмических временных рядов с целью поиска дополнительных предвестников землетрясений представляется использование методов, развитых в рамках нелинейной физики, в частности, информационно-энтропийный анализ. Этому и посвящена настоящая работа.

Методика исследования

Ранее нами на основе энтропийно – метрического анализа цифровых сейсмограмм крупных землетрясений нашего региона, записанных на станциях СОМЭ КН МОН РК, был получен очень интересный результат о том, что за некоторое время до всех исследованных землетрясений 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 [6]. Также было показано, что во время самого землетрясения нормированная энтропия и обобщенная метрическая характеристика принимает очень большие значения, и на метрико - топологических диаграммах соответствующие точки попадают в область самоорганизации [7], т.е. землетрясения можно отнести к процессам самоорганизации открытой системы Земля.

В том исследовании цифровые сейсмограммы подвергались следующей обработке. В спокойные периоды, в периоды до, во время и после землетрясения из сейсмограммы вырезались отрезки длительностью, близкой длительности самого землетрясения, и такие, чтобы начальная и конечная точки отрезков были близки по уровню (разность уровней начала и конца импульса влияет на значение энтропии). Затем для каждого из них рассчитывалась энтропия Шеннона по формуле

$$S = - \sum_i P_i(\delta) \ln P_i(\delta) \quad (1)$$

где δ - масштаб измерения величины сигнала, P_i - вероятность попадания в интервал δ с номером i . Так как значение энтропии зависит от масштаба измерения физической величины, после вычисления по

формуле (1) проводилась нормировка энтропии, в качестве постоянной нормировки бралось значение энтропии Шеннона равнобедренного треугольного импульса как сигнала с равномерным распределением плотности вероятности, обладающего, следовательно, максимальным значением энтропии. Поскольку такая обработка сейсмограмм (деление на отрезки) велась вручную и была вследствие этого очень трудоемкой, расчеты велись по данным только одной станции для каждого землетрясения, кроме того, исследовалось лишь несколько отрезков до землетрясения, затем делался длительный пропуск в сейсмограмме, и анализировались отрезки задолго до землетрясения.

В данной работе первичная обработка сейсмограмм была полностью автоматизирована и те же, а также и другие землетрясения были подвергнуты детальному анализу по сейсмограммам, записанным на нескольких станциях, были исследованы также и спокойные периоды, далекие по времени от значительных толчков. При этом для деления сейсмограмм на отрезки применялась разработанная нами методика деления сигнала на квазистационарные участки, основанная на вычислении скорости изменения коэффициента формы кривой [8].

Важное отличие этой методики от использованной нами ранее – независимость длины исследуемых отрезков сейсмограмм от длительности землетрясения, поэтому в будущем ее можно будет применять для сканирования сейсмической обстановки в режиме on-line.

Результаты и их обсуждение

На рисунках 1 – 2 представлены результаты проведенного исследования, а именно, изменение нормированной информационной энтропии сигнала от сейсмической активности во времени для двух крупных землетрясений нашего региона. По оси x отложены номера отрезков сейсмограмм, нумерация отрезков была проведена таким образом, чтобы тот из них, который соответствует самому землетрясению, имел нулевой номер, длительность отрезков составляет около 5

минут. Для большей наглядности на рисунках приведены также соответствующие цифровые сейсмограммы в одинаковом с диаграммой временном масштабе.

Видно, что для всех толчков подтверждается полученный ранее результат о больших значениях нормированной информационной энтропии непосредственно во время землетрясений. Также для всех исследованных ранее землетрясений полностью подтверждаются выводы о существенном росте энтропии за некоторое время до них.

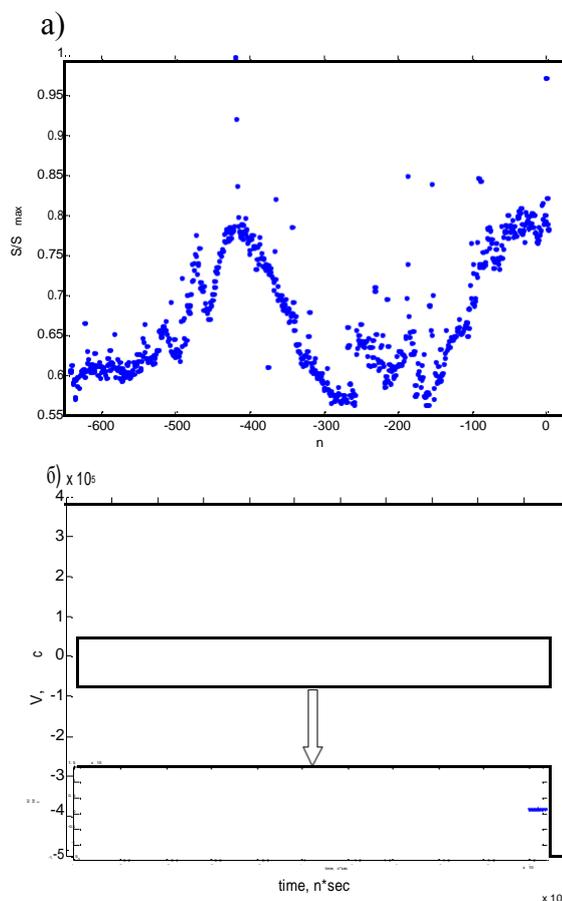


Рисунок 1 – Изменение энтропии сигнала от сейсмической активности перед землетрясением магнитудой 4.4 М, произошедшим 20.04.2010 г. (а) и сейсмограмма записанная на станции СОМЭ в Кураме в этот период для горизонтальных волн (составляющая e) (б)

При этом новые исследования показывают, что в отсутствие значительных форшоков энтропия начинает рост примерно за полсутки до основного землетрясения, возвращаясь к невозмущенным значениям

через некоторое время после него. Если же имеют место заметные форшоки, энтропия начинает рост незадолго до этих толчков, в случае, если до основного землетрясения остается достаточно времени, постепенно возвращается на невозмущенный уровень и затем начинает новый рост перед основным толчком. Во время мелких форшоков и афтершоков энтропия может испытывать довольно кратковременные, но значительные колебания. Следует отметить, что в периоды мелких толчков, не предвещающих крупные землетрясения, энтропия немного возрастает непосредственно во время толчка и почти сразу после него принимает свои обычные значения.

Для некоторых событий, например, для землетрясения магнитудой 5 М, произошедшего 09.10.2007 г., обнаружено, что перед ними наблюдается не устойчивый рост, а значительные колебания энтропии, длящиеся в течение нескольких часов до толчка.

Для двух исследованных землетрясений - магнитудой 4.3 М, произошедшего 16.03.2014 г. и магнитудой 4.6 М, произошедшего 21.01.2014 г., также обнаружено существенное изменение энтропии за некоторое время до толчка, однако, в отличие от исследованных ранее событий, в данном случае наблюдается не рост, а уменьшение энтропии по сравнению со спокойными периодами.

На рисунке 3 приведена карта нашего региона, на которой фиолетовыми звездочками отмечены местоположения сейсмостанций СОМЭ, а красными кружками - местоположение эпицентров исследованных землетрясений. Эпицентр землетрясения, произошедшего 21.01.2014 г., отмечен номером 1, 16.03.2014 г. - номером 2, 01.05.2011 г. - номером 3, 20.04.2010 г. - номером 4, 13.06.2009 г. - номером 5, 09.10.2007 г. - номером 6. Видно, что эпицентры 3-6 землетрясений находятся в Заилийском Алатау, Джунгарском Алатау и между ними, тогда как 1 и 2 землетрясений - в Центральном Тянь-Шане. По всей видимости, с этим и связано разное поведение энтропии при этих землетрясениях, что косвенно

подтверждается тем, что во время произошедшего 22.05.2003 г. землетрясения магнитудой 5.4 М, эпицентр которого находился в Киргизском хребте, также имела место тенденция к уменьшению энтропии во время толчка.

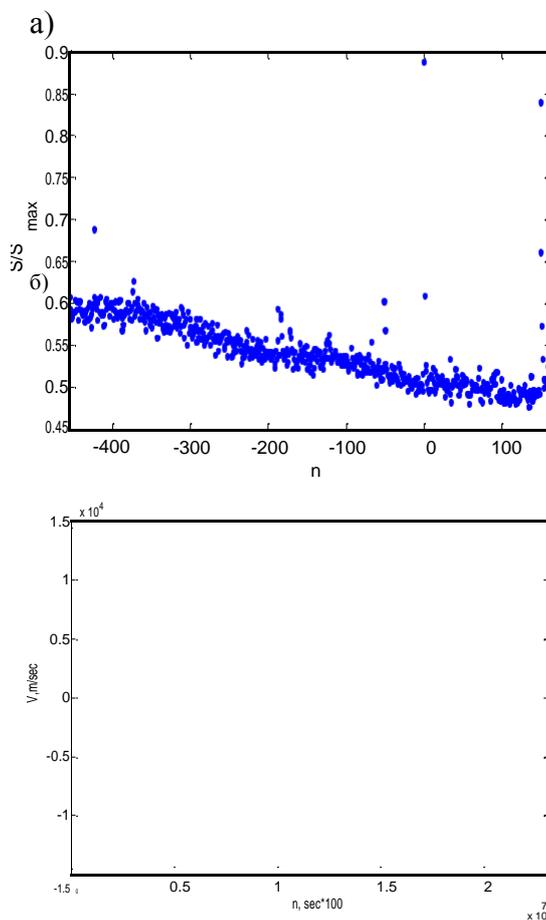


Рисунок 2 – Изменение энтропии сигнала от сейсмической активности перед землетрясением магнитудой 4.3 М, произошедшим 16.03.2014 г. (а) и сейсмограмма записанная на станции СОМЭ в Кураме в этот период для горизонтальных волн (составляющая е) (б)

Необходимо отметить, что изменение энтропии до землетрясения наблюдается по записям не всех станций. Например, для землетрясения 20.04.2010 г. предвестник наблюдается для сейсмограмм, записанных на станциях Курам, Чушкалы, и не наблюдается на сейсмограммах, записанных на станциях Жаркент, Медео. Сопоставление местоположения эпицентров землетрясений и сейсмостанций показывает, что предвестники наблюдаются только на достаточно близлежащих к эпицентрам (лежащих в радиусе порядка 150 км от

эпицентра) станциях и в случае, если между эпицентром и станцией не лежит озеро Иссык-Куль.



Рисунок 3 – Карта эпицентров землетрясений и регистрирующих станций СОМЭ

Возможно, впадина, в которой лежит озеро, оказывая влияние на распространяющиеся сейсмические волны, изменяет характеристики сигнала так, что предвестник в нем не выявляется.

Выводы

Таким образом, результаты настоящей работы показывают, что для всех исследованных крупных (с магнитудой больше 4 М) землетрясений по записям достаточно близлежащих к эпицентрам толчков станций наблюдается предвестник в виде значительного изменения энтропии по сравнению с невозмущенными периодами. При этом, если эпицентр землетрясения находится в Киргизском Ала-Тоо и Внутреннем Тянь-Шане, энтропия перед событием уменьшается, в других исследованных случаях – увеличивается. В некоторых случаях имеют место длительные и значительные колебания энтропии перед толчком.

Планируется проведение дальнейших исследований с привлечением других характеристик динамического хаоса.

Список литературы:

1 Keilis-Borok V.I., Soloviev A.A. Nonlinear dynamics of the Lithosphere and Earthquake Prediction. Springer.- 2003.- 330p.

2 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.

3 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.

4 Попандопуло Г. А., Баскута Я. Закономерности временных вариаций сейсмических параметров и возможность предсказания сильных землетрясений на территории Греции // Физика Земли, - № 11, 2011, С. 27-48

5 Шестапалов И.П., Белов С.В., Соловьев А.А., Кузьмин Ю.Д. О связи сейсмичности и вулканизма с солнечной и геомагнитной активностью, а также генерации нейтронов и геомагнитных возмущениях в связи с Чилийским землетрясением 27 февраля и вулканическим извержением в Исландии в марте-апреле 2010г. // «Геомагнетизм и аэрономия», М., Зарубежгеология, Т. 53 №1 2010. С. 130-142

6 Наурзбаева А.Ж., Хохлов С.А., Медетов Б.Ж. Выявление предвестников землетрясений по сигналам от сейсмической активности методом информационно-энтропийного анализа // Вестник КазНУ, сер. физ., № 2(41) 2012. - С. 76-81.

7 Жанабаев З.Ж. Самоподобие и самоаффинность хаотических систем. Приложение теории. // Матер. 6 - й Межд. науч. конф. «Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент», 2008, Астана, С.8-14

8 Медетов Б.Ж., Койшигарин А.С., Байгожина А.М. Сегментация сигнала на квазистационарные участки с помощью коэффициента формы кривой // Вестник КазНУ, сер. физ. - Алматы, №1 (52) 2015.- С.114-121.

А.Ж. Наурзбаева, Н.Ш. Алимгазинова, Б.Ж. Медетов, А.А. Алибек,
А.Б. Манапбаева

Казахский Национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

ЭНТРОПИЙНЫЙ АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ОТ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

Аннотация. Проведен информационно-энтропийный анализ цифровых сейсмограмм нескольких крупных землетрясений нашего региона, предоставленных нам Сейсмологической опытно-методической экспедицией КН МОН РК. Получено, что перед всеми исследованными землетрясениями по записям достаточно близлежащих к эпицентрам толчков станций наблюдается предвестник в виде значительного изменения энтропии по сравнению с невозмущенными периодами.

Ключевые слова: предвестники землетрясений, информационная энтропия, анализ сигналов

**A.Zh. Naurzbayeva, N.Sh. Alimgazinova, B.Zh. Medetov, A.A. Alibek,
A.B. Manapbayeva**

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

ENTROPY ANALYSIS OF TIME SERIES FROM SEISMIC ACTIVITY

Abstract. Information - entropic analysis of digital seismograms of several large earthquakes in our region have been carried out. It was found that before all the earthquakes studied a harbinger in the form of significant change of entropy compared to unperturbed periods is observed by the records of stations close to tremors epicenters. The seismograms were provided to us by Seismological experimental methodical expedition of SC MES RK.

Keywords: earthquake precursors, information entropy, signal analysis

**А.Ж. Наурзбаева, Н.Ш. Алимгазинова, Б.Ж. Медетов, А.А. Алибек,
А.Б. Манапбаева**

эл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ, Қазақстан

СЕЙСМИКАЛЫҚ БЕЛСЕНДІЛІКТЕН УАҚЫТ ҚАТАРЛАРЫН ЭНТРОПИЯЛЫҚ ТАЛДАУ

Аңдатпа. ҚР ҒжБМ ҒК Сейсмологиялық тәжірибе-әдістемелік экспедициясының ұсынуы бойынша біздің аймақтың бірнеше ірі жер сілкіністерінің сандық сейсмограммаларының информациялық-энтропиялық талдауы жасалды. Жазба бойынша барлық зерттелетін жер сілкіністерінің алдында эпицентрге айтарлықтай жақын жатқан дүмпулер станцияларында қозбаған периодтар бойынша энтропияның біршама өзгеруінің бастамасы байқалатындығы алынды.

Тірек сөздер: жер сілкінісінің хабаршысы, информациялық энтропия, сигналдарды талдау