

УДК 550.34,551.24

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ КАТАЛОГА «NEIC»

Б. З. Белашев

*Институт геологии Карельского научного центра РАН
Петрозаводский государственный университет*

По данным каталога землетрясений «NEIC» построены распределения сейсмических событий и оценены их пространственные, временные, энергетические и спектральные параметры. Показано, что современная сейсмичность имеет характерные особенности, присущие земной коре, мантии, доменам литосферы. Выявлены долгоживущие центры сейсмической активности.

Ключевые слова: землетрясение, каталог, сейсмичность, кора, мантия, домен, гипоцентр, магнитуда, распределение, спектр, бифуркация.

B. Z. Belashev. ANALYSIS OF THE DISTRIBUTION OF SEISMIC EVENTS FROM THE NEIC CATALOG

Using data from the «NEIC» catalog of earthquakes the distributions of the seismic events were built, and their space, time, energy and spectral parameters were assessed. We show that the current seismicity has specific characteristics pertinent to the Earth's crust, mantle and lithosphere domains. The long-lived centers of seismic activity were identified.

Key words: earthquake, catalog, seismicity, Earth's crust, mantle, domain, hypocenter, magnitude, distribution, spectra, bifurcation.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение современной тектоники опирается на каталоги землетрясений. Известный каталог Национальной сейсмической службы США «NEIC» [9] содержит столбцы данных, отвечающих году, месяцу, дате, времени, широте, долготе, глубине и магнитуде землетрясения. Структура каталога позволяет строить разнообразные распределения событий и по ним изучать сейсмическую активность Земли. Цель работы — на основе данных каталога «NEIC» построить распределения событий и извлечь из них информацию о современном сейсмическом процессе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для изучения сейсмического процесса и оценки его параметров были использованы данные каталога «NEIC» за период 1973–2006 гг. Распределения N сейсмических событий получали, подсчитывая число событий $f_k(x)$ переменной x в диапазоне ее изменения для k событий по формуле:

$$f_k(x) = f_{k-1}(x) + \delta_k(x), \quad (1)$$

$$k = 1, \dots, N; f_0(x) = 0$$

$$\delta_k(x) = 1, \text{ если } h < x \leq h + \Delta h$$

$$\delta_k(x) = 0, \text{ если } x \leq h \text{ или } x > h + \Delta h.$$

Здесь k — номер события, h — отсчет гистограммы, Δh — шаг гистограммы. Помимо

распределений событий на основе генеральной совокупности каталог удобен для построения выборочных распределений событий для земной коры, мантии и тектонических доменов, относящихся к внутренним частям океанических плит, зонам сжатия, континентального и океанического рифтов [5]. Построение и обработку распределений событий вели в системе компьютерной математики «Matlab» [1]. Структуру распределений выявляли при помощи алгоритмов [6]. При прогнозировании зависимостей применяли метод «Гусеница», как в прямом, так и в обратном направлении [2]. Параметры метода, соответствующие наименьшей ошибке прогноза в обратном направлении, использовали в прямом направлении. Для получения спектров распределений в них устраняли аппроксимируемые полиномами тренды, а затем применяли метод максимума энтропии Бурга [7]. В этом методе оценки текущего значения $y(l)$ распределения и ошибки предсказания $\varepsilon(l) = y(l) - x(l)$ представляют линейной комбинацией p предшествующих значений $x(l - k)$.

$$y(l) = \sum_{k=1}^p a(k)x(l - k), \quad (2)$$

$$\varepsilon(l) = \sum_{k=0}^p a(k)x(l - k) \text{ при } a(0) = -1. \quad (3)$$

Коэффициенты комбинации $a(k)$ ищут из условия минимума дисперсию ошибки предсказания. Для аддитивного белого шума фильтр с такими коэффициентами является «отбеливающим»: превращает входные данные в белый шум на выходе. Спектр мощности процесса выражают через спектральную мощность шума и частотную характеристику фильтра:

$$P(m) = \left[\frac{\sigma^2}{1 + \sum_{k=1}^p a(k) \exp(-jm\Delta\omega\Delta t)} \right]^2 \quad (4)$$

Здесь $\Delta\omega$ и Δt представляют шаги дискретизации данных по угловой частоте и времени. Такой спектр отвечает минимальной информации на выходе фильтра и имеет минимальное число пиков, не являющихся артефактами и совместимых с исходными данными. Усредненный спектр получали, вычисляя периодограмму с окном в 20 отсчетов. Особенности нестационарного сейсмического процесса изучали с помощью вейвлет-алгоритма [6] с ортогональными вейвлетами Добеши и Симлета, по скачкам параметров сигналов, выявля-

ющих моменты смены режима процесса, называемые бифуркациями [3]. Интерпретацию результатов вели, сравнивая распределения, полученные при разных условиях, а также с данными литературных источников.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Распределения событий каталога «NEIC» по магнитуде представлены на рис. 1.

При построении распределений сейсмических событий по глубине (рис. 2 а, б) для фиксации нуля логарифмической шкалы к содержанию отсчетов добавляли единицу. В полученных распределениях проявляется упорядоченность гипоцентров землетрясений по глубине. Гипоцентры приурочены к глубинам, чередующимся с шагом примерно 50 км.

Эти распределения отвечают большинству событий в зонах сжатия и отличаются от распределений событий в других доменах, имеющих меньшую мощность сейсмоактивной литосферы. Для областей континентального рифта в распределениях сейсмических событий по глубине присутствуют пики 7, 18, 30 и 60 км, а в для областей океанического рифта и океанических плит – 7 и 30 км. При изучении распределений эпицентров сейсмических событий по широте и долготе отбирали группы 10000 событий из начала и конца каталога, соответствующих началу и концу предполагаемого цикла сейсмической активности. Положение эпицентра задавали географическими координатами, а цвет отображающей его точки – в зависимости от магнитуды события или глубины гипоцентра. В начале цикла преобладали события больших магнитуд и глубин, в конце цикла – события малых глубин и небольших магнитуд. Нестационарность распределения событий оказалась заметно выраженной для распределения событий с глубинами гипоцентров, не превышающих 100 км (рис. 3 а). Условно такие события будем считать коровыми, а события с глубинами гипоцентров больше 100 км – мантийными. Распределение мантийных событий по времени дает рис. 3 б, спектры распределений событий по времени для земной коры, мантии и тектонических доменов – рис. 3 в, г. Периоды сейсмичности тектонических доменов представлены в табл. 1.

По форме спектры распределений событий для зон континентального и океанического рифтов близки. Заметны отличия спектров распределения событий земной коры и мантии. В распределении событий по годам с гипоцентрами глубиной не более 100 км

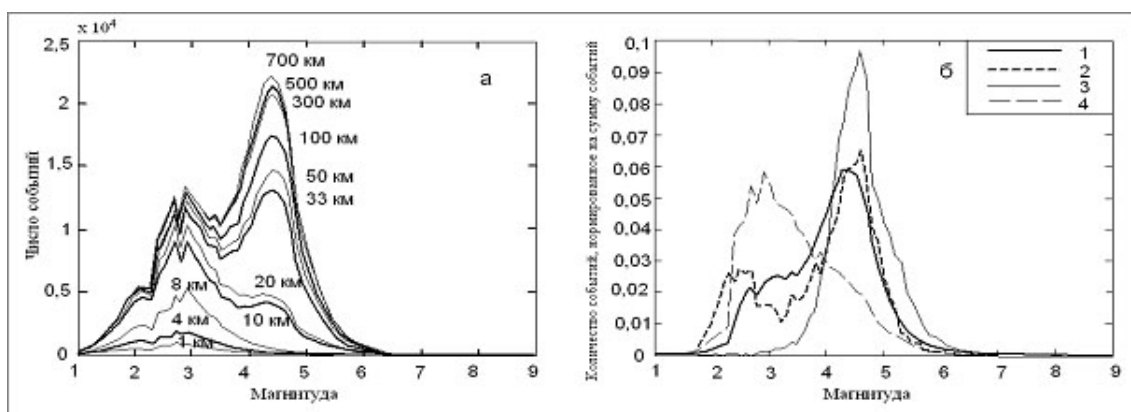


Рис. 1. Распределения сейсмических событий по магнитуде для разных диапазонов глубин (а) и разных тектонических доменов (1 – зоны сжатия, 2 и 3 – зоны континентального и океанического рифтов, 4 – события внутри океанических плит)

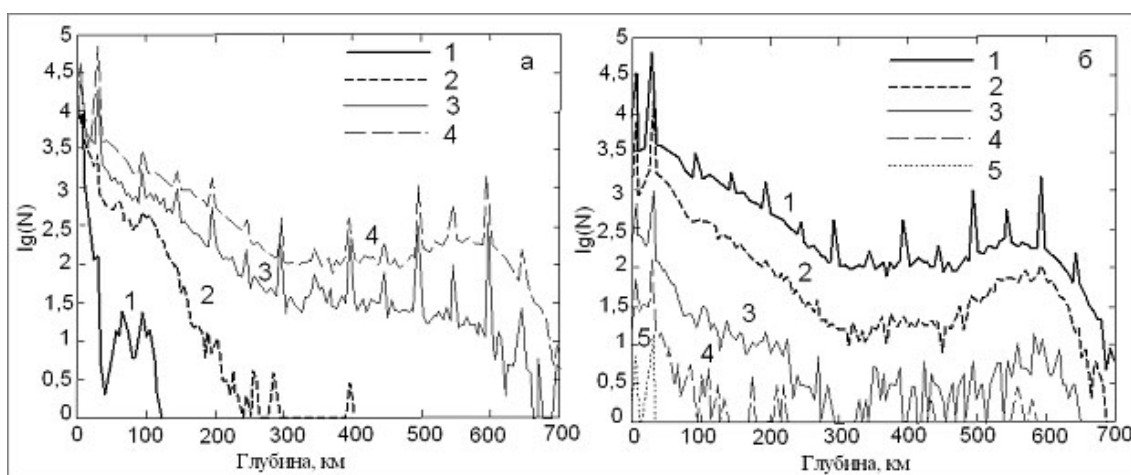


Рис. 2. Распределения сейсмических событий по глубине для фиксированных интервалов магнитуды M : а) 1 – $0,9 < M < 2,1$; 2 – $1,9 < M < 3,1$; 3 – $2,9 < M < 4,1$; 4 – $3,9 < M < 5,1$; б) 1 – $3,9 < M < 5,1$; 2 – $4,9 < M < 6,1$; 3 – $5,9 < M < 7,1$; 4 – $6,9 < M < 8,1$; 5 – $7,9 < M < 9,1$

Таблица 1. Периоды сейсмичности для тектонических доменов

Зоны континентального рифта	15,7	10,4	7,0	5,2	4,0	3,5	3,2	2,6	2,3	2,1
Зоны океанического рифта	15,7	10,5	7,4	5,7	4,5	3,9	3,1	2,6	2,3	–
Зоны сжатия	16,7	9,7	8,4	5,0	4,7	3,3	3,0	2,3	2,2	–
Зоны внутри океанических плит	15,8	9,7	7,9	5,2	4,5	3,5	3,1	2,4	–	2,1

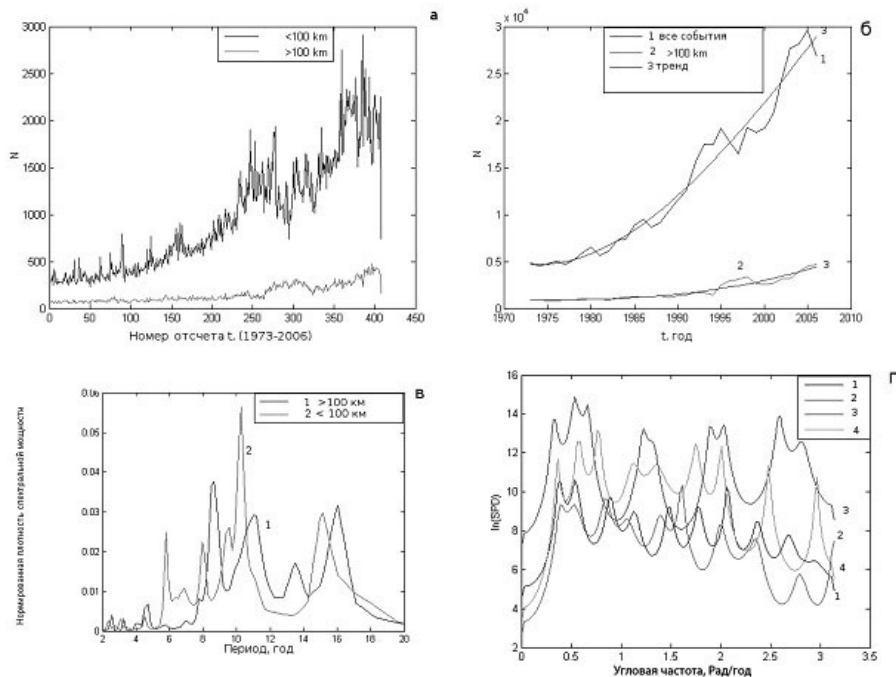


Рис. 3. Временные распределения сейсмических событий: а) шаг отсчета – месяц; б) распределения событий по годам с трендами, аппроксимируемыми полиномами 3 степени; в) периодограммы Бурга для коровых и мантйных событий; г) периодограммы Бурга для тектонических доменов 1 – зоны континентального рифта, 2 – зоны океанического рифта, 3 – зоны сжатия, 4 – события внутри океанических плит

выявлены локальные особенности, соответствующие 1998 и 2004 гг., а в распределения по годам событий с гипоцентрами с глубинами выше 100 км – 2004 г. (рис. 4). На рис. 5 показаны распределения событий по месяцам, отвечающие на вопрос: "В каком месяце землетрясения происходят чаще?". Для событий с гипоцентрами, не более 100 км, такими месяцами являются апрель-май, октябрь-ноябрь, а для событий с гипоцентрами свыше 100 км – август. Участки с наибольшим количеством землетрясений в году рассматривали как центры сейсмической активности. В этих участках удобно изучать процессы накопления напряжений и подготовки землетрясений. Центры сейсмической активности 1973 – 1980 гг. показаны на рис. 6 а, а на рис. 6 б приведено распределение эпицентров землетрясений вблизи одного из них – центра сейсмической активности 1973 г. с координатами 33° с. ш. и 141° в. д.

ОБСУЖДЕНИЕ

Формы распределения событий по магнитуде носят дискретный характер в зависимости от глубины очага. Заметна тенденция увеличения роста магнитуды события с ростом

глубины его гипоцентра (рис. 1 а). Разложение сложного контура распределения сейсмических событий по магнитуде на компоненты в виде функций Гаусса не реалистично. Детали полученных распределений можно описать, используя в качестве базиса разложение компонентов, соответствующие распределениям сейсмическим событиям по магнитуде для тектонических доменов (рис. 1 б). Обнаруженную в распределениях событий по глубине приуроченность гипоцентров землетрясений к глубинам, чередующихся с шагом 50 км, (см. рис. 2 а, б), можно объяснить с позиций радиальных стоячих волн напряжений, узлы и пучности которых соответствуют малым и повышенным вероятностям событий. Такие волны напряжений возможны в зонах сжатия, имеющих большую радиальную протяженность. В других тектонических доменах распределения значительно более короткие и редуцированные, как например, у океанических плит с малой толщиной коры и простым строением [2]. Изменения в распределении эпицентров событий в начале и конце 33-летнего цикла свидетельствует о том, что события, происходящие в разных местах в разное время, не являются независимыми. Переход от сильных глубинных землетрясений к многочисленным слабым поверхностным землетрясениям

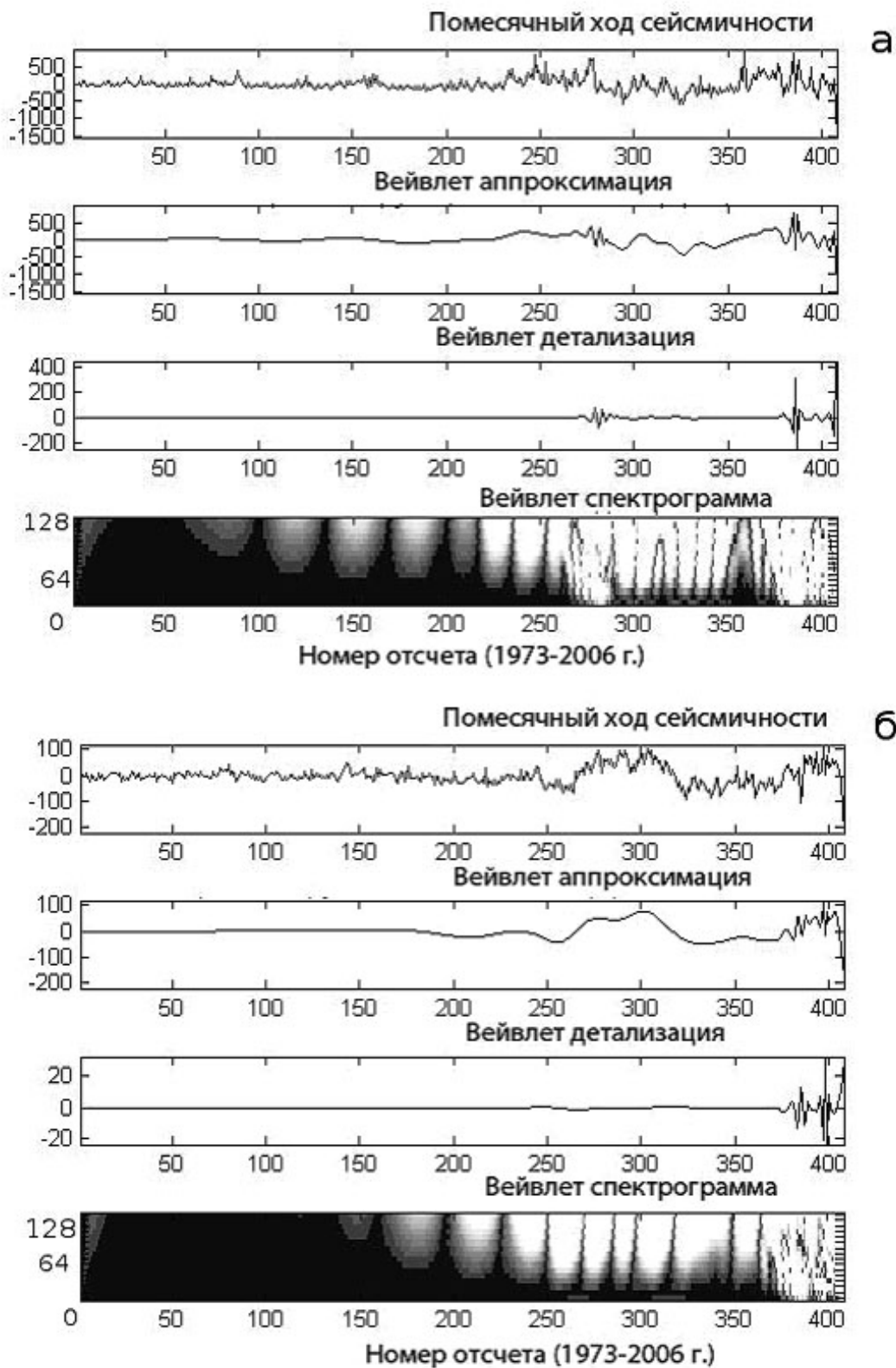


Рис. 4. Бифуркации в распределениях сейсмических событий по времени без трендов для событий с глубинами гипоцентров, не превышающих 100 км (а) и более 100 км (б)

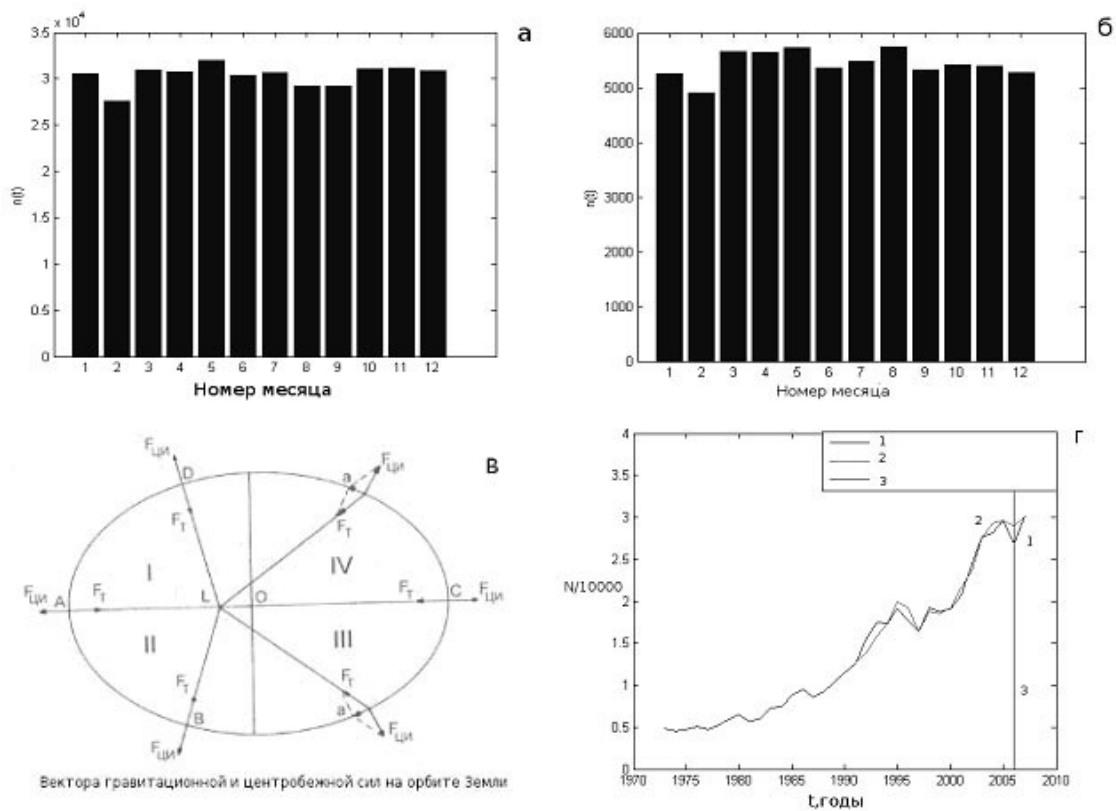


Рис. 5. Распределения событий по месяцам для глубин гипоцентров не более 100 км (а) и более 100 км (б), вектора гравитационной и центробежной сил на орбите Земли, определяющих тангенциальное ускорение [8] (в) и экстраполяция распределения сейсмических событий по времени методом «Гусеница» (г)

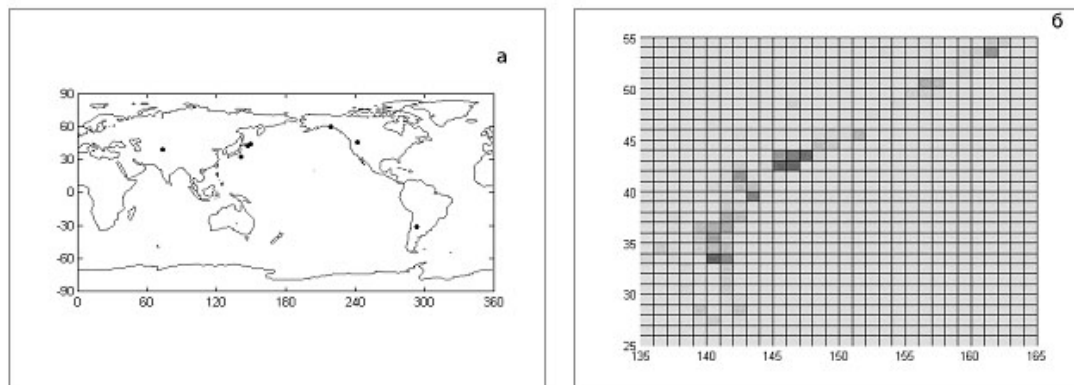


Рис. 6. Центры сейсмической активности на поверхности Земли 1973–1980 гг. (а) и распределение эпицентров землетрясений вблизи центра 1973 г.

отражает общую трансформацию энергии напряжений, указывает на коррелированность событий в пространстве и времени, а, следовательно, на самосогласованность и самоорганизации сейсмического процесса. Циклические изменения проявляются во временных зависимостях сейсмичности. Для коровых землетрясений основными являются периоды 10,5 и 9,7 лет, у мантийных событий – периоды 11,5, 8,4, 13,6 лет. Активность коровых землетрясений по отношению к мантийным (см. рис. 3) можно понять из представлений о гравитационной экранировке мантии земной корой. Благодаря такой экранировке устраняется влияние экзогенных факторов на тектонические процессы в мантии, а нестационарность мантийного сейсмического процесса выражена слабо в связи с меньшим числом точек бифуркации. Обнаруженная во временной зависимости коровых землетрясений бифуркация 1998 г. в аналогичной зависимости мантийных землетрясений отсутствует (рис. 4). Соответствие этой бифуркации началу роста экваториального радиуса Земли подтверждено лазерными измерениями формы Земли [8]. Присутствующую в обоих распределениях событий бифуркацию 2004 г., по-видимому, определяют эндогенные процессы. Интерпретация экстремумов распределения коровых событий по месяцам проведена с использованием эллиптической формы орбиты движения Земли вокруг Солнца [4]. В системе отсчета, связанной с Землей, в апреле-мае, октябре-ноябре тангенциальное ускорение Земли отлично от нуля, способно вызывать дополнительные упругие напряжения в земной коре. В июне и декабре тангенциальное ускорение близко к нулю. Соответственно и число землетрясений в эти месяцы меньше. Максимум распределения мантийных событий по месяцам приходится на август. С учетом влияния эндогенных механизмов это позволяет высказать гипотезу о связи землетрясений и повышенного числа, происходящих в августе природных и техногенных катастроф, с режимами дефлюидизации мантии и воздействием ее продуктов на атмосферу, биосферу, психофизическое состояние и здоровье людей. Выявленные центры сейсмической активности в основном связаны с Тихоокеанским сейсмическим кольцом. В этих центрах возбужденные состояния недр быстро формируются и быстро сбрасываются. Имеют место смещения гипоцентров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование показало, что распределения сейсмических событий на основе каталога «NEIC» являются информативными по срав-

нению с первичными данными. Они не используют априорных сведений и позволяют делать выводы относительно самых разных сторон современного сейсмического процесса.

Выводы

1. Пространственные, временные, спектральные и энергетические параметры сейсмичности имеют особенности, присущие земной коре, мантии и тектоническим доменам литосферы.
2. Различия в распределениях коровых и мантийных сейсмических событий могут быть объяснены гравитационной экранировкой мантии земной корой, снижающей влияние экзогенных факторов на сейсмический процесс.
3. Центры сейсмической активности являются долгоживущими образованиями, могут включаться в тектонические структуры и направленно эволюционировать.
4. Современная сейсмичность является самосогласованным, самоорганизующимся процессом.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Говорухин В., Цибулин В.* Компьютер в математическом исследовании. Maple. Matlab. LaTeX. СПб.: Питер, 2001. 624 с.
2. *Голяндина Н.* Метод «Гусеница»-SSA: анализ временных рядов: Учебное пособие. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2004. 76 с.
3. *Дьяконов В. П.* Вейвлеты. От теории к практике. М.: Солон-Р, 2002. С. 176–179.
4. Ротационные процессы в геологии и физике / Под ред. Е. Е. Милановского. М.: КомКнига, 2007. 528 с.
5. *Хаин В. Е., Халилов Э. Н.* Циклическость геодинамических процессов. Ее возможная природа. М.: Научный мир, 2009. 520 с.
6. *Belashev B.* Methods to reveal Hidden Structures of Signals and their Applications. Вестник РУДН. 2010. № 3, вып. 3(2). Математика. Физика. Информатика. С. 132–135.
7. *Burg J. P.* Maximum entropy Spectral Analysis. Ph. D. Thesis, Department of Geophysics, Stanford University, Stanford, Calif., 1975.
8. *Cox C., Chao B. F.* Detection of large-scale mass redistribution in terrestrial system science 1998. Science. Vol. 297, N 2. August, 2002. P. 831–833.
9. *NEIC* National Earthquake Information Center NEIC - <http://earthquake.usgs.gov/regional/neic/index.php>.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Белашев Борис Залманович

старший научный сотрудник, д. т. н.

Институт геологии Карельского научного центра РАН

ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Каре-

лия, Россия, 185910

профессор кафедры информационно-измерительных

систем и физической электроники

Петрозаводский государственный университет

пр. Ленина, 33, Петрозаводск,

Республика Карелия, Россия, 185910

эл. почта: belashev@krc.karelia.ru

тел.: (8142) 782753

Belashev, Boris

Institute of Geology, Karelian Research Centre, Russian

Academy of Sciences

11 Pushkinskaya St., 185610 Petrozavodsk, Karelia,

Russia

Petrozavodsk State University

33 Lenina St., 185910, Petrozavodsk, Karelia, Russia

e-mail: belashev@krc.karelia.ru

tel.: (8142) 782753