

DOI: 10.18454/2079-6641-2011-2-1-55-63

Информационные и вычислительные технологии

УДК 550.34

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВОЗМУЩЕНИЙ ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ, ПРЕДШЕСТВУЮЩИХ СИЛЬНЫМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМ НА КАМЧАТКЕ

М.А. Мищенко

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
684034, Камчатский край, с. Паратунка, ул. Мирная, 7

E-mail: micle@ikir.ru

Представлены результаты статистического анализа возмущений геоакустической эмиссии с использованием метода наложения эпох. Показано, что 45,8% возмущений геоакустической эмиссии возникают в 2,5 суточном интервале перед сильными землетрясениями.

Ключевые слова: геоакустическая эмиссия, возмущение, землетрясение, метод наложения эпох

© Мищенко М.А., 2011

Informational and computational technologies

MSC 65N80

STATISTICAL ANALYSIS OF DISTURBANCE GEOACOUSTIC EMISSIONS IMMEDIATELY PRECEDING THE STRONG EARTHQUAKES IN KAMCHATKA

M.A. Mishenko

Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation Far-Eastern Branch,
Russian Academy of Sciences, 684034, Kamchatskiy Kray, Paratunka, Mirnaya st., 7,
Russia

E-mail: micle@ikir.ru

The results of statistical analysis of perturbations of geoacoustic emission using the method of superposed epoch. It is shown that 45,8% perturbation of geoacoustic emission arise in the daily range of 2,5 to strong earthquakes.

Key words: geoacoustic emission, disturbance, earthquake, the method of superposed epoch

© Mishenko M.A., 2011

Введение

С 1999 г. на Камчатке производится мониторинг сигналов геоакустической эмиссии (ГАЭ). За время исследований было выявлено, что многим землетрясениям предшествуют изменения в характере геоакустической эмиссии, которые выражаются в виде резкого продолжительного повышения амплитуды или периодически появляющихся импульсов [1]. Наблюдаемые сигналы ГАЭ не распространяются из очага готовящегося землетрясения, а генерируются в непосредственной близости от места наблюдения под действием сил деформаций [2].

Методика регистрации

Для регистрации сигналов ГАЭ используется приемная система, установленная на дне озера Микижа. Система состоит из четырех направленных гидрофонов, три из которых ориентированы по сторонам света (кроме запада) и один направлен вертикально вниз. Регистрация и первичный анализ сигналов ГАЭ производится как во всем принимаемом диапазоне частот (0,1–11000 Гц), так и на выходе полосовых фильтров, делящих диапазон на несколько поддиапазонов. Такая система позволяет оперативно выявлять акустические сигналы различной природы и при этом анализировать их в широком диапазоне частот.

Сигналы с гидрофонов после усиления фильтруются по частотам: 0,1–10, 30–60, 70–200, 200–700, 700–2000, 2000–6500, 6500–11000 Гц. Далее частотноразделённые сигналы подаются на амплитудные детекторы, накапливаются за 4 с, оцифровываются и записываются на жесткий диск компьютера [3].

Классификация и отбор возмущений ГАЭ

Анализ полученных данных показывает, что аппаратура регистрирует сигналы землетрясений, возмущения ГАЭ, обусловленные деформационными процессами, а также сигналы, сгенерированные воздействием метеофакторов (осадки, ветер), сигналы техногенного и биологического характера [4]. На рис. 1 показан пример сигнала ГАЭ, прошедшего фильтрацию в 7 частотных диапазонах, за 1,5 суток перед землетрясением с энергетическим классом $K=13,8$ и дистанцией до пункта наблюдения $D = 220$ км произошедшим 24 августа 2006 г.

В трёх высокочастотных диапазонах присутствует аномальное возмущение ГАЭ. Наиболее ярко оно представлено в диапазоне частот $2,0 < f < 6,5$ Гц.

С ростом временного ряда наблюдений появилась необходимость в систематизации, классификации геоакустических возмущений, их сопоставлении с метеорологическими и сейсмическими каталогами и последующем статистическом анализе. Для этого был проанализирован ряд наблюдений геоакустического сигнала за период 01.02.2002–31.12.2007 г. и определены виды возмущений ГАЭ. Выявлено, что все возмущения либо имеют характерное увеличение среднего уровня сигнала в несколько раз, либо носят импульсный характер (отдельные квазипериодически появляющиеся сигналы небольшой длительности).

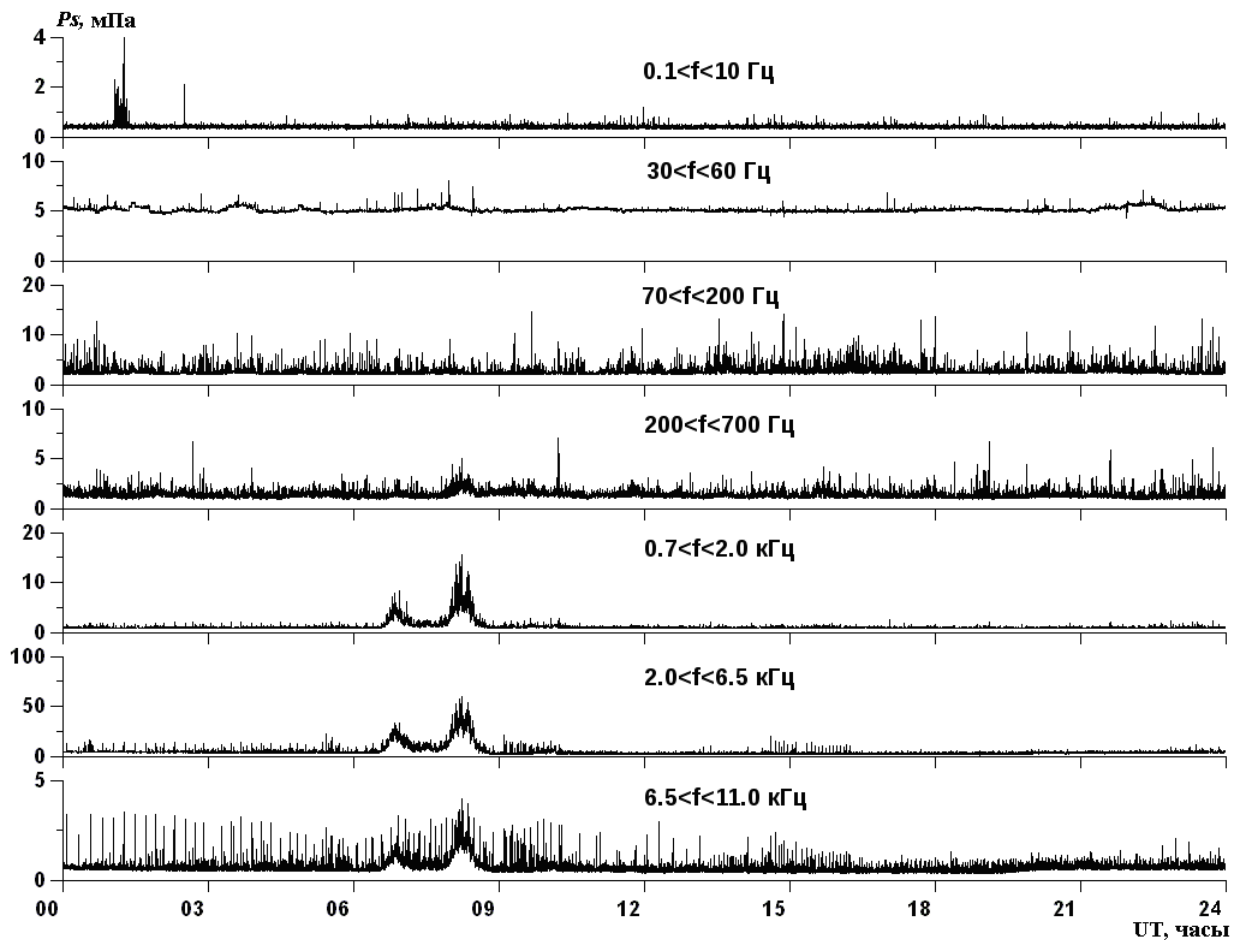


Рис. 1. Пример сигнала ГЭ с высокочастотным возмущением

На рис. 2 приведен пример суточной реализации данных с возмущением первого типа.

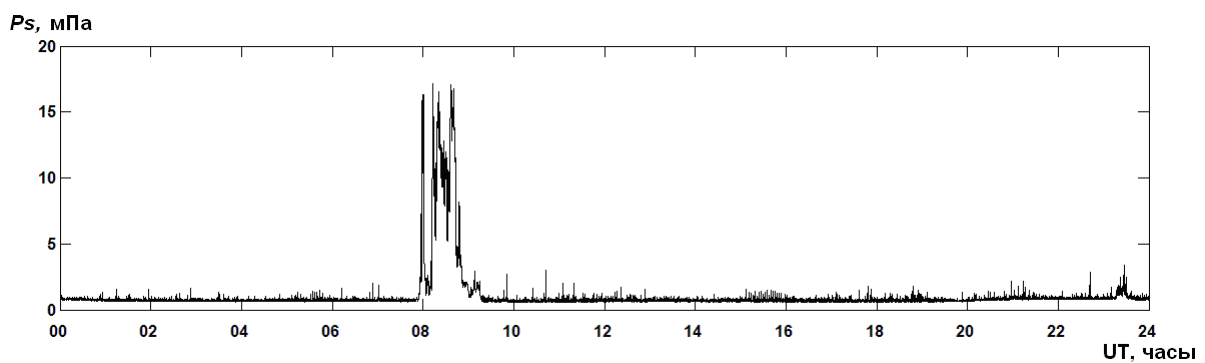


Рис. 2. Пример возмущения ГЭ первого типа

Такие возмущения имеют длительность более 15 мин и превышают средний уровень сигнала более чем в 4 раза относительно фона. Фоновый уровень определяется в зависимости от сезона года.

На рис. 3 приведен ряд данных, усреднённых на интервале 5 мин и порог (прямая линия), превышающий фоновый уровень в 4 раза.

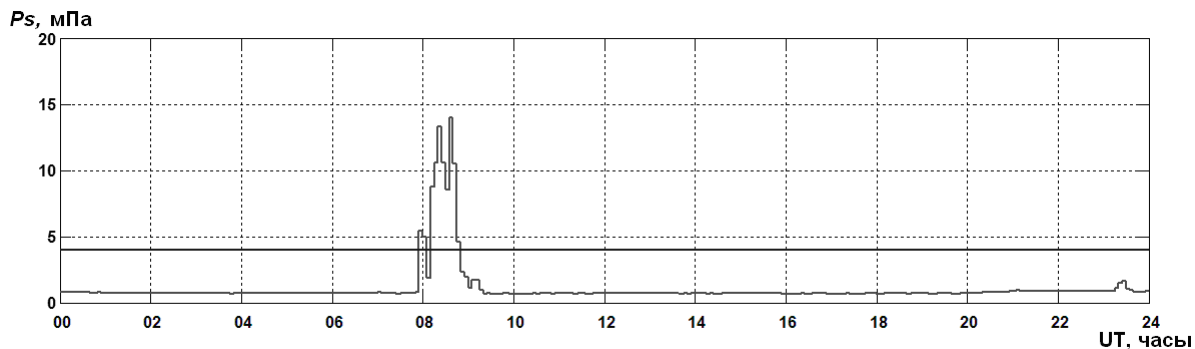


Рис. 3. Пример выявления возмущений ГАЭ первого типа

На рис. 4 приведен пример суточной реализация данных с возмущением второго типа.

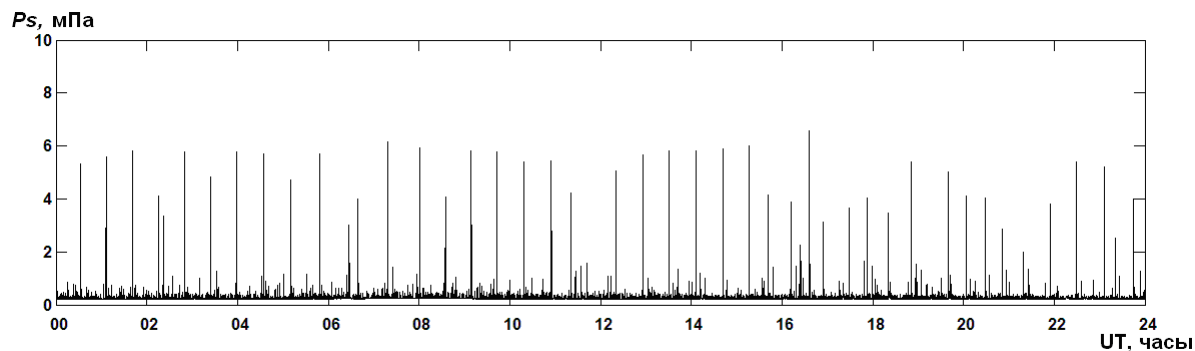


Рис. 4. Пример возмущения ГАЭ второго типа

Такие возмущения имеют длительность более 1 часа и скважность появления импульсов от единиц до десятков минут. Для их выявления используется 4-х кратный порог среднеквадратичного отклонения (СКО) сигнала в фоновый период.

На рис. 5 приведен ряд данных, полученных после расчёта СКО на трёхминутном интервале, и порог, превышающий СКО фонового уровня в 4 раза.

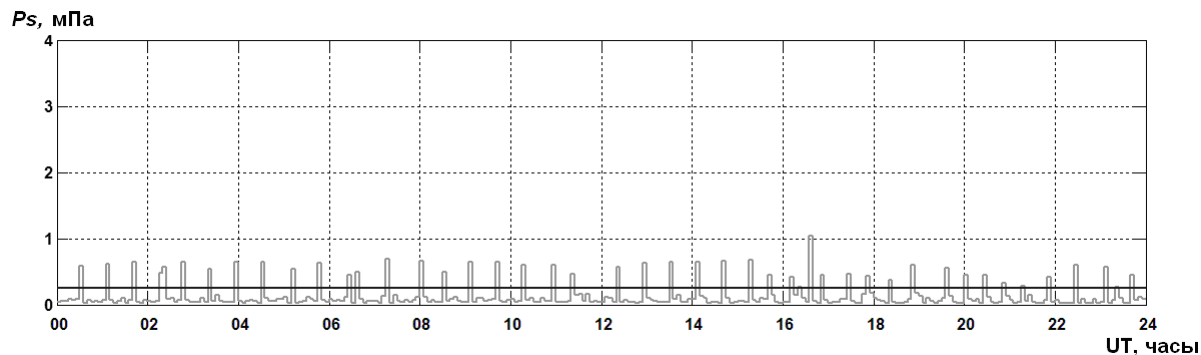


Рис. 5. Пример выявления возмущений ГАЭ второго типа

Подробно методика формирования каталога возмущений ГАЭ приведена в работе [5].

С учетом вышесказанного, временной ряд данных анализировался дважды – вначале на наличие возмущений первого типа, а затем – второго. Установлено, что многие возмущения ГАЭ первого типа обусловлены неблагоприятными метеословиями, в то время как возмущения второго типа часто можно выделить на фоне дождя. Поэтому в каталог геоакустических возмущений попали возмущения первого типа, зарегистрированные в условиях «хорошей погоды» (отсутствие ветра > 5 м/с и осадков), и все – второго. Возмущения обоих типов, пересекающиеся во времени, объединялись в одно.

В результате такой фильтрации, был получен каталог возмущений ГАЭ, зарегистрированных в условиях хорошей погоды, которые можно отнести к возмущениям деформационной природы. Результаты классификации и отбора возмущений за период 01.11.2002–31.12.2007 отражены в табл. 1.

Таблица 1

Возмущения ГАЭ	Количество
Метеорологической природы	450(59,4%)
Деформационной природы	308(40,6%)
Всего	758

Подтверждение неслучайности наблюдаемого эффекта

На основе базы региональных землетрясений были отобраны две группы землетрясений с $11,0 < K \leq 12,0$ и $K > 12,0$ на расстоянии $D \leq 315$ и $D \leq 350$ км соответственно. Такие дистанции выбраны в соответствии с данными анализа возмущений ГАЭ, представленными в [1], и скорректированы с учетом модели [6]. Большинство наблюдаемых землетрясений регистрируются у восточного побережья полуострова Камчатки вдоль активных разломов. В связи с этим все землетрясения отбирались с азимутом от 30° – 210° от станции наблюдения.

Первоначально была проведена формализация временного ряда возмущений ГАЭ в условиях хорошей погоды за период наблюдений с дискретностью 1 минута. В полученном ряде в качестве 1 используется наличие возмущения, а 0 – его отсутствие. На рис. 6 показана идея формализации.

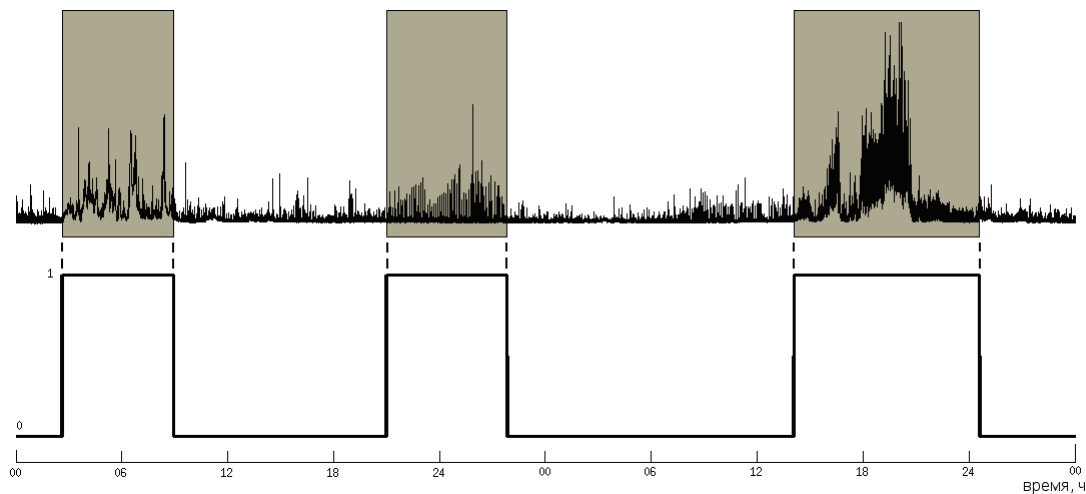


Рис. 6. Пример формализации временного ряда возмущений ГАЭ

Сейсмический режим подчиняется некоему закону повторяемости. В качестве случайной величины здесь выступает период повторяемости землетрясения с определённой магнитудой в определённом районе. Все землетрясения, произошедшие в период наблюдений, представлены в виде временного ряда. Для подтверждения неслучайности наблюдаемых аномалий ГАЭ, кроме фактического, был синтезирован искусственный ряд землетрясений, полученный из исходного путём случайной перестановки элементов.

В дальнейшем анализе был использован метод наложения эпох, эффективность применения которого для реальных физических процессов показана в работе [7]. Для каждого из 46 землетрясений с $11,0 < K \leq 12,0$ был рассмотрен период 10 суток (от -5 до $+5$ суток относительно времени события) из формализованного временного ряда возмущений ГАЭ. После этого было проведено их поэлементное наложение (рис.7).

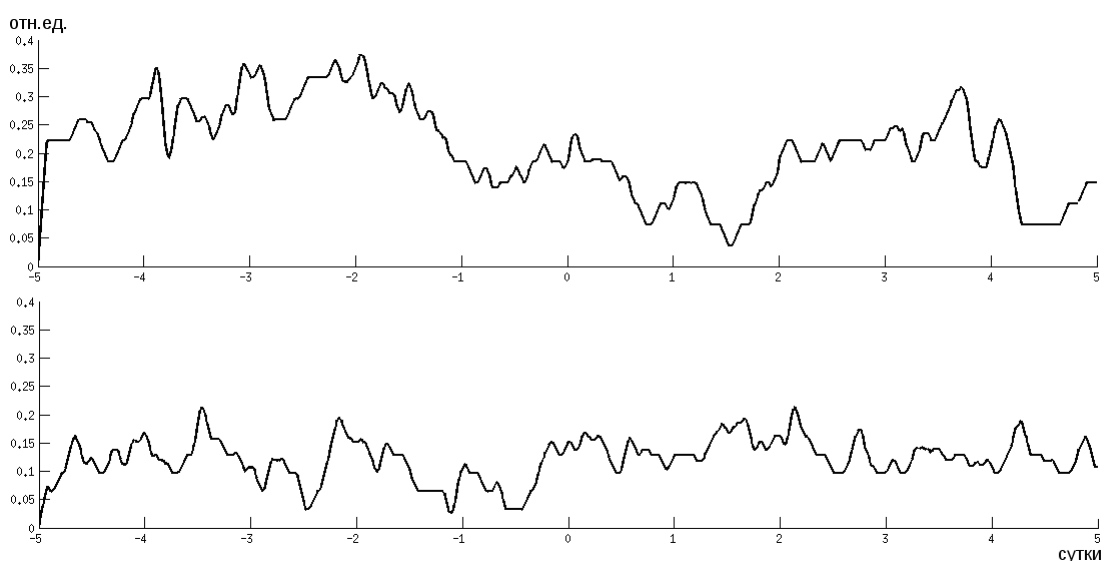


Рис. 7. Результат наложения формализованных временных рядов возмущений ГАЭ для землетрясений $11,0 < K \leq 12,0$

На верхнем графике показан результат с реальным каталогом землетрясений, на нижнем – с искусственным.

На рис. 8 представлены аналогичные графики для каталога землетрясений с энергетическими классами $K > 12,0$. Всего 30 случаев.

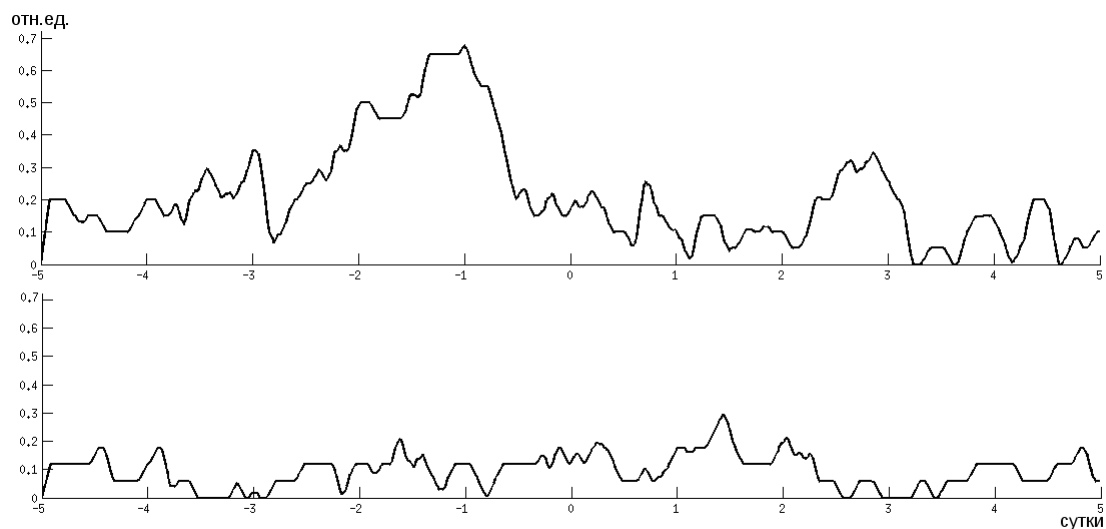


Рис. 8. Результат наложения формализованных временных рядов возмущений ГАЭ для землетрясений $K > 12,0$

Из представленного материала видно, что в период с 2,5–0,5 суток до землетрясений из реального каталога наблюдается повышение амплитуды ГАЭ, что указывает на неслучайность наблюдаемых аномалий. С каталогом искусственных землетрясений подобного не наблюдается. Наиболее сильное повышение амплитуды получено для землетрясений $K > 12,0$.

Сопоставление каталогов землетрясений и возмущений геоакустической эмиссии

Результат сопоставления каталога возмущений ГАЭ с землетрясениями $11,0 < K \leq 12,0$, произошедшими на расстоянии $D \leq 315$ км представлен на рис. 9а.

Исходя из полученных ранее результатов, рассматривается временной интервал до 2,5 суток перед сейсмическими событиями. За период наблюдений проанализировано 46 землетрясений с таким диапазоном энергетических классов, это меньше числа сейсмических событий по каталогу, что объясняется простоями оборудования. Перед 30 из них за 2,5 суток наблюдались возмущения ГАЭ, что составляет 65,2%.

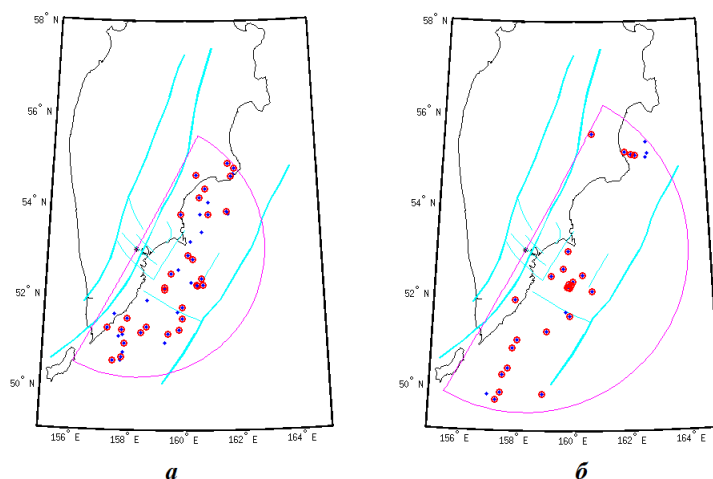


Рис. 9. Распределение землетрясений на карте Камчатки с энергетическим классом $11.0 < K < 12.0$ (а) и $K > 12.0$ (б). Точка — эпицентр землетрясений, произошедших в период работы станции в условиях хорошей погоды. Окружность вокруг точки обозначает, что землетрясения предварялись возмущениями ГАЭ

На рис. 9б показаны результаты сопоставления каталога ГАЭ с землетрясениями $K > 12.0$, произошедшими на расстоянии $D \leq 350$ км. Из 30 сейсмических событий 25 (83,3%) имели отклик за 2,5 суток в ГАЭ. Полученные результаты сведены в следующую табл. 2.

Таблица 2

События с $11,0 < K \leq 12,0$			События с $K > 12,0$		
Всего событий	Событий с аномалиями	%	Всего событий	Событий с аномалиями	%
46	30	65,2	30	25	83.3

Обсуждение результатов

В результате сопоставления полученного каталога с базой региональных землетрясений было выявлено, что из 308 возмущений деформационной природы 141 (45,8%) предшествовало землетрясениям с энергетическим классом не менее 9,0.

Таким образом, с использованием метода наложения эпох обнаружено, что в период с 2,5 до 0,5 суток перед землетрясением наблюдается повышение амплитуды высокочастотной геоакустической эмиссии.

Сравнительный анализ каталогов землетрясений и возмущений эмиссии показал: более половины сильных сейсмических событий на Камчатке предваряются откликом

в геоакустической эмиссии, что может быть использовано в качестве их оперативного предвестника.

Библиографический список

1. Купцов А.В. Изменение характера геоакустической эмиссии в связи с землетрясением на Камчатке // Физика Земли. – 2005. – № 10. – С. 59–65.
2. Долгих Г.И. и др. Деформационные и акустические предвестники землетрясений / Г.И. Долгих, А.В. Купцов, И.А. Ларионов, Ю.В. Марапулец, В.А. Швец, Б.М. Шевцов, В.А. Чупин, С.В. Яковенко // ДАН. – 2007. – Т. 413. – № 5. – С.96–100.
3. Ларионов И. А., Мищенко М. А., ЩЕРБИНА А. О. Аппаратно-програмный комплекс мониторинга геоакустической эмиссии // Вестник КРАУНЦ. Серия науки о Земле. – 2005. – Вып. 6 – № 2. – С. 128–132.
4. Марапулец Ю.В., ЩЕРБИНА А.О., Мищенко М.А. Методы исследования высокочастотной геоакустической эмиссии: Монография/Петропавловск-Камчатский: КГТУ, 2008. – 115 с.
5. Марапулец Ю.В., Мищенко М.А. К вопросу выявления возмущений высокочастотной геоакустической эмиссии, предшествующих землетрясениям на Камчатке // Материалы 2-ой региональной научн.-техн. конфер. «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России»: Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2010. – С. 221–224.
6. ДОВОЛЬСКИЙ И. П. Механика подготовки тектонического землетрясения. – М.: АН СССР. Инст. Физики Земли, 1984. – 189 с.
7. ЛИПЕРОВСКАЯ Е.В. Применение численного моделирования – метода Монте-Карло при анализе сейсмоионосферных эффектов // Сбор. докл. 4-ой междунар. конфер. «Солнечно-земные связи и предвестники землетрясений»: Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 2007. – С. 32–54.

Поступила в редакцию / Original article submitted: 11.09.10

В окончательном варианте / Revision submitted: 23.04.11