

Информационные и вычислительные технологии  
Informational and computational technologies

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

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).

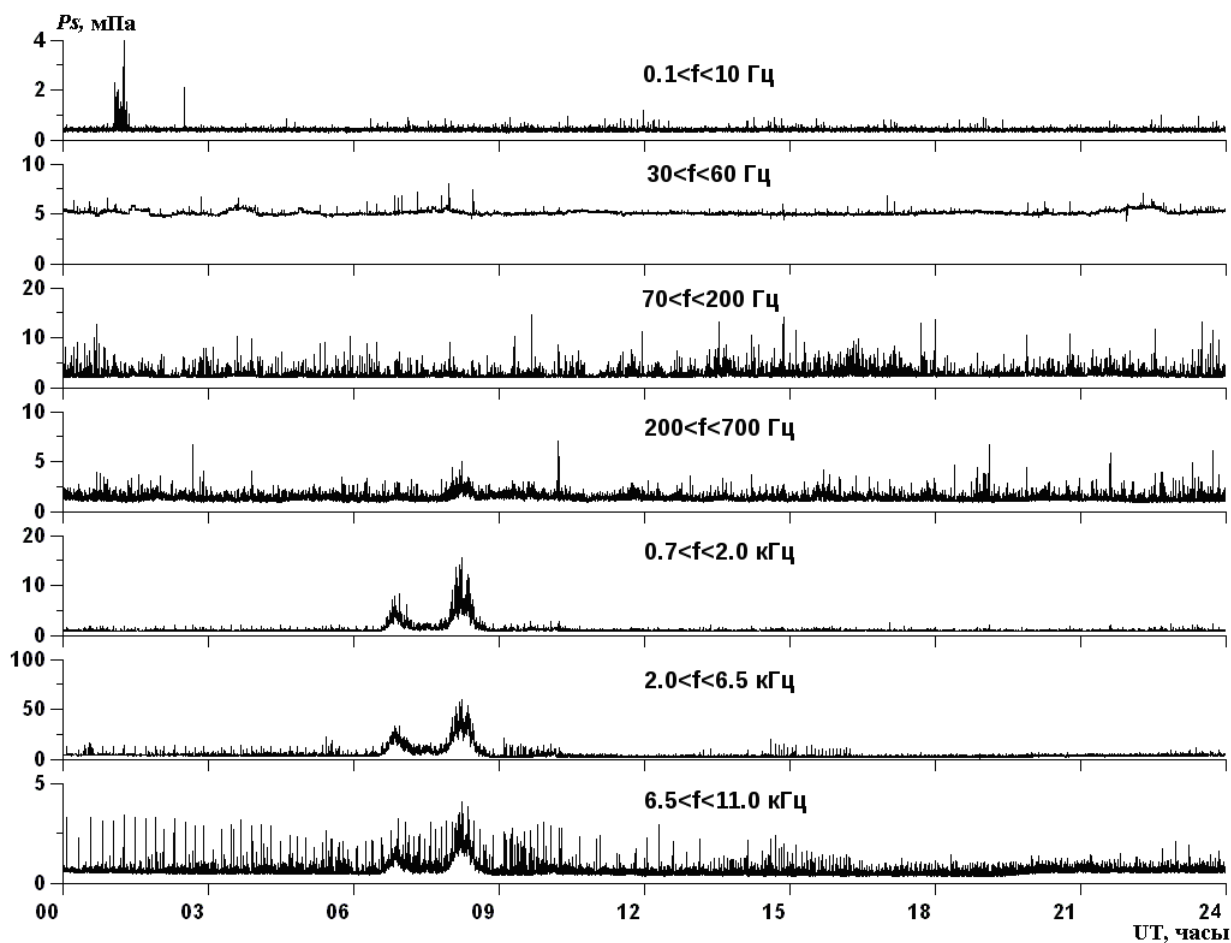


Рис. 1. Пример сигнала ГАЭ с высокочастотным возмущением

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

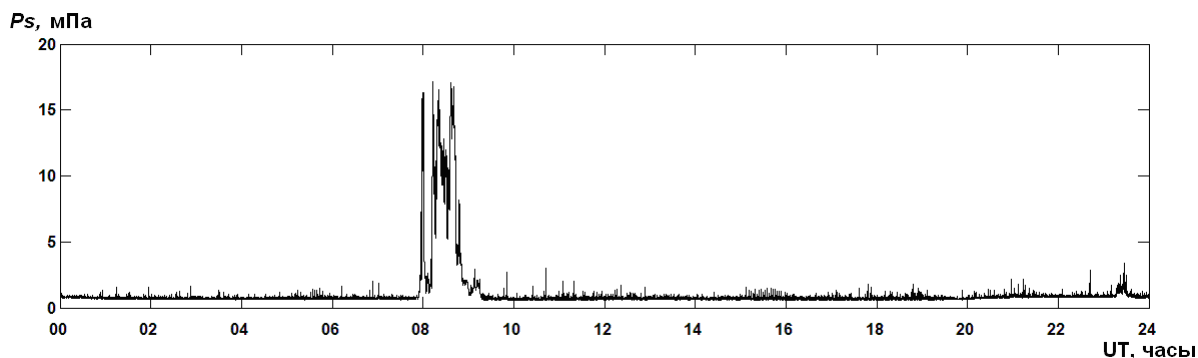


Рис. 2. Пример возмущения ГАЭ первого типа

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.

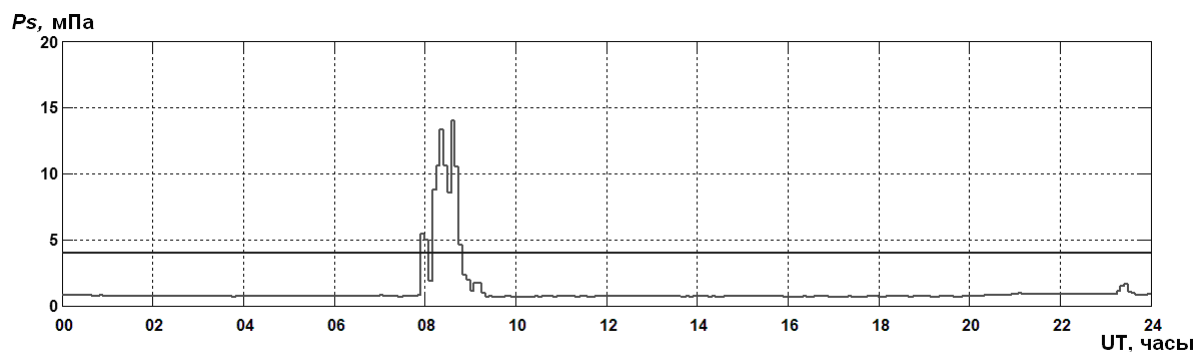


Рис. 3. Пример выявления возмущений ГАЭ первого типа

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

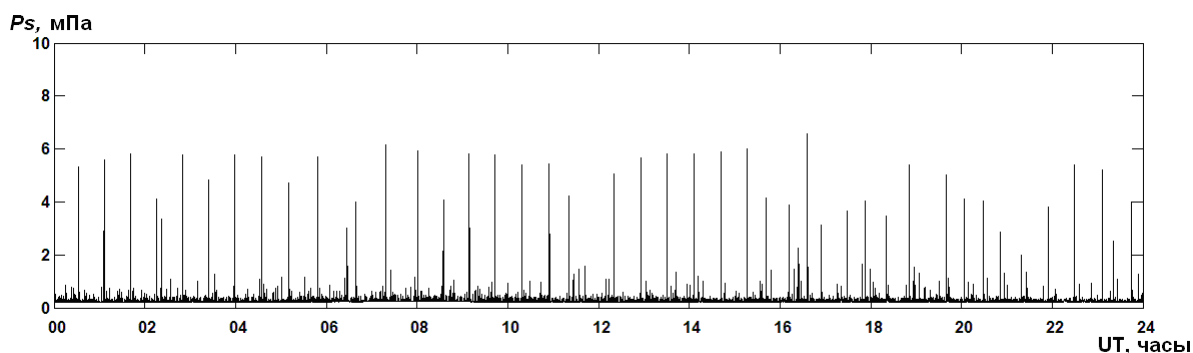


Рис. 4. Пример возмущения ГАЭ второго типа

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.

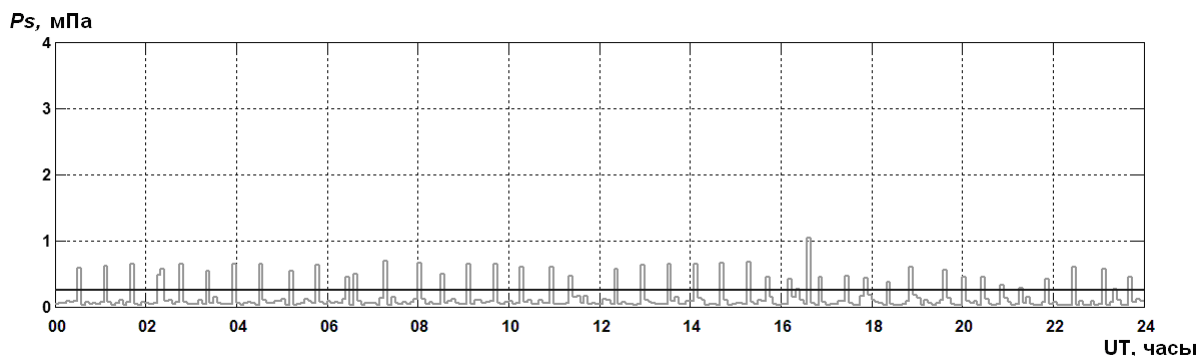


Рис. 5. Пример выявления возмущений ГАЭ второго типа

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  $30^\circ$  –  $210^\circ$  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.

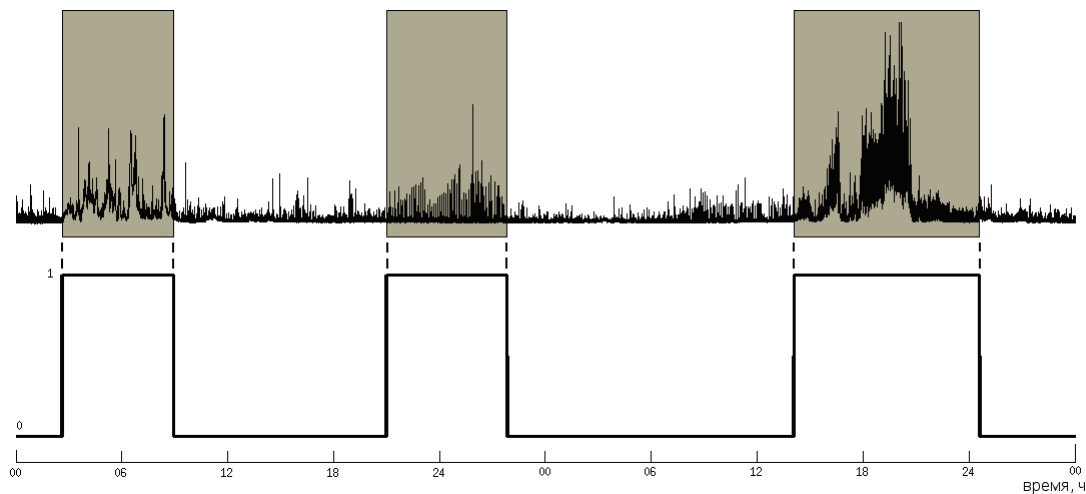


Рис. 6. Пример формализации временного ряда возмущений ГАЭ

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).

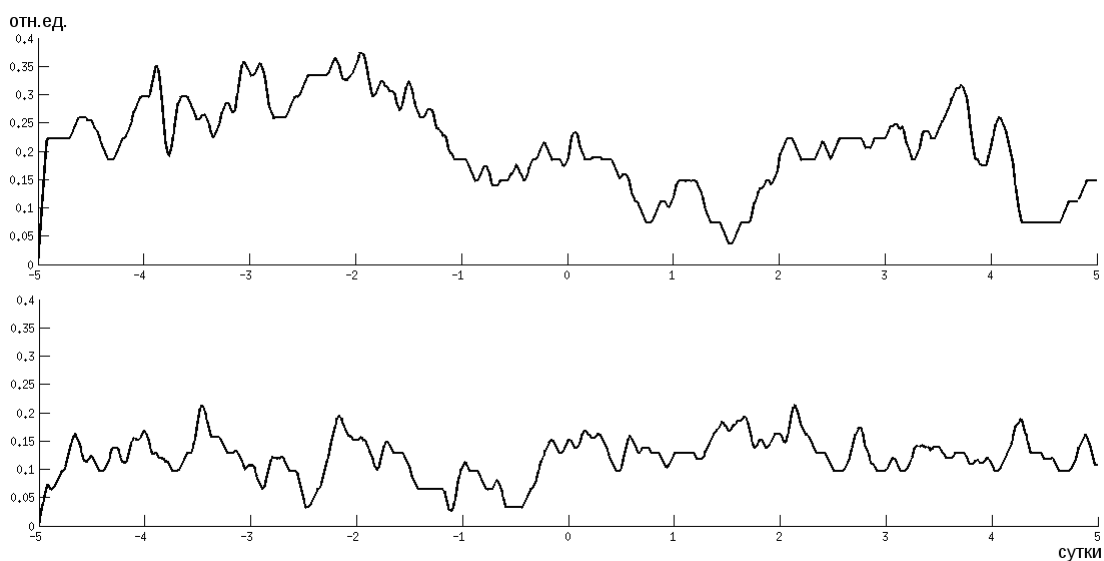


Рис. 7. Результат наложения формализованных временных рядов возмущений ГАЭ для землетрясений  $11,0 < K \leq 12,0$

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.

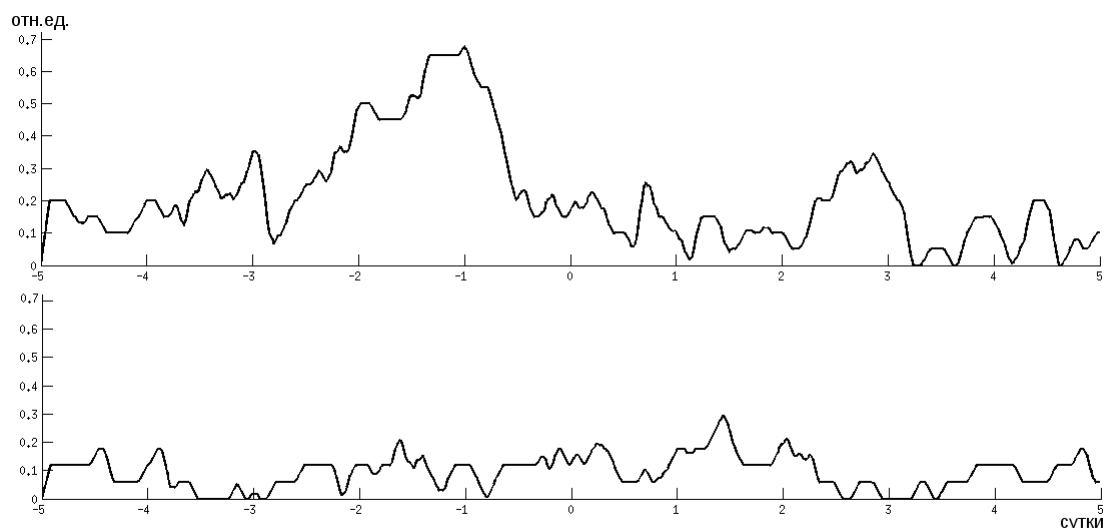


Рис. 8. Результат наложения формализованных временных рядов возмущений ГАЭ для землетрясений  $K > 12,0$

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%.

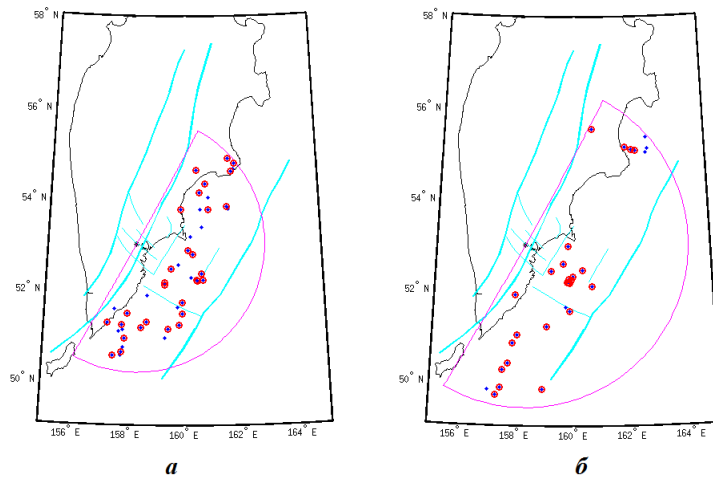


Рис. 9. Распределение землетрясений на карте Камчатки с энергетическим классом  $11,0 < K < 12,0$  (а) и  $K > 12,0$  (б). Точка — эпицентр землетрясений, произошедших в период работы станции в условиях хорошей погоды. Окружность вокруг точки обозначает, что землетрясения предварялись возмущениями ГАЭ

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.

## Литература

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. ДОБРОВОЛЬСКИЙ 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