

Этот вид возмущений регистрируется значительно чаще первого, однако, как показали наблюдения, существует определенный порог деформационных изменений, при превышении которого происходит одновременное возмущение деформационных и акустических сигналов. Величина этого порога варьируется в разных случаях.

Таким образом, показано, что геоакустическая эмиссия индуцируется локальными деформационными процессами, а интенсивные деформационно-акустические возмущения возникают, как правило, в периоды подготовки сейсмических событий и могут рассматриваться в качестве комплексных предвестников землетрясений. Однако механизм такого взаимодействия является нелинейным процессом и подлежит дальнейшему изучению.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта ДВО РАН 10-III-B-02-021.

#### Литература

1. Соболев Г. А., Пономарев А. В. Физика землетрясений и предвестников. // М: Наука. 2003. 270 с.
2. Соболев Г. А., Асатрян Х. О., Салов Б. Г. Акустическая эмиссия при разрушении материала в условиях фазового перехода. // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1989. № 1. С. 38-43.
3. Купцов А.В. Изменение характера геоакустической эмиссии в связи с землетрясением на Камчатке. // Физика Земли, 2005, № 10, С. 59-65.
4. Долгих Г.И., Валентин Д.И., Ковалев С.Н., Корень И.А., Овчаренко В.В., Фищенко В.К. Применение лазерных деформографов вертикальной и горизонтальной ориентации в геофизических исследованиях переходных зон // Физика земли. 2002. №8. С. 69-73.
5. Купцов А. В. Исследование сейсмоакустических сигналов камчатских землетрясений с использованием векторных гидроакустических приемников. // Сб. II межд. совещ. «Солнечно-земные связи и предвестники землетрясений». Петропавловск-Камчатский. 2001. С. 60-61.
6. Купцов А. В., Ларионов И. А., Марापалец Ю. В., Шевцов Б. М. Сравнительный анализ сигналов геоакустической эмиссии с разнесенных гидроакустических систем. // Тез. междунар. научного симпозиума «Проблемные вопросы островной и прибрежной сейсмологии (ОПС-2005)». Южно-Сахалинск. 2005. С. 64-65.
7. Купцов А. В., Ларионов И. А., Марापалец Ю. В., Щербина А. О. Геоакустическая система мониторинга и прогнозирования сейсмической активности на полуострове Камчатка. // Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям (SCM 2005). Сборник докладов. С.-Петербург. 2005. Т. 2. С. 159-161.
8. Купцов А. В., Ларионов И. А., Шевцов Б. М. Особенности геоакустической эмиссии при подготовке камчатских землетрясений. // Вулканоология и сейсмология. 2005. № 5. С. 45-59.
9. Купцов А. В., Ларионов И. А., Шевцов Б. М. Экспериментальные исследования аномалий геоакустической эмиссии, соответствующей ранней стадии развития сейсмических событий. // Петропавловск-Камчатский. Вестник КРАУНЦ, серия науки о Земле. 2004. № 3. С. 46-52.
10. Ларионов И.А. Акустическая эмиссия деформаций осадочных пород. //Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. с.Паратунка, ИКИР, 2008, 19с.

#### СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВРЕМЕННОГО РЯДА ГЕОАКУСТИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ СО СТАНЦИИ НАБЛЮДЕНИЯ «МИКИЖА» В ПЕРИОД 2002-2007 гг. STATISTICAL ANALYSIS OF A TIME SERIES OF GEOACOUSTIC DISTURBANCES FROM «MIKIZHA» OBSERVATORY DURING 2002-2007

М.А. Мищенко

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

Since 2002 IKIR FEB RAS has been carrying out geoaoustic emission monitoring. As the observation time series grew, the necessity to organize, analyze and classify the data appeared. The paper is devoted to the results of investigation of geoaoustic disturbance series, their comparison with meteorological and seismic catalogs and further statistic analysis. Event localization was considered; response zones, disturbance types, their parameters and selection criteria were determined. The results of statistical processing of the data are shown.

Проведенными ранее исследованиями установлено, что в 1.5 суточном временном интервале перед сейсмическими событиями на Камчатке наблюдаются возмущения геоакустической эмиссии (ГАЭ) диапазоне частот - единицы килогерц [1]. Данное явление обусловлено возникновением отклика породы на динамическую локальную перестройку структуры поля напряжений и сопровождается испусканием импульсов высокочастотных акустических волн как из-за образования микроразломов и трещин, так и из-за подвижек в существующих разломах, заполненных обычно водонасыщенными осадочными породами [2].

Для регистрации сигналов ГАЭ в ИКИР ДВО РАН используется приемная система, установленная на дне озера Микижа. Система состоит из 4-х направленных гидрофонов, три из

которых ориентированы по сторонам света (кроме запада) и один направленный вертикально вниз. Регистрация и первичный анализ сигналов ГАЭ производится как во всем принимаемом диапазоне частот (0 – 22 кГц), так и на выходе полосовых фильтров, делящих частотный диапазон на несколько поддиапазонов. Такая система позволяет оперативно выявлять акустические сигналы различной природы и при этом анализировать их в широком диапазоне. Сигналы с выходов 4-х пьезокерамических преобразователей усиливаются, оцифровываются с частотой дискретизации 22 кГц и записываются на "жесткий диск" первого персонального компьютера [3]. В качестве устройства для оцифровки используются звуковые карты. Одновременно с записью широкополосных сигналов на втором персональном компьютере реализована система частотно-временной обработки (фильтрация, вычисление абсолютного значения и усреднение значения амплитуды сигнала на интервале 4 секунды). Фильтрация сигналов производится в семи частотных поддиапазонах: 0.1-10, 30-60, 70-200, 200-700, 700-2000, 2000-6500, 6500-11000 Гц.

Анализ полученных данных показывает, что аппаратура регистрирует сигналы землетрясений, возмущения ГАЭ, обусловленные динамикой деформационного процесса, а также сигналы, сгенерированные воздействием метеофакторов (осадки, ветер) и сигналы техногенного и биологического характера [3]. На рис.1 для примера представлено возмущение ГАЭ за 1.5 суток перед землетрясением с  $K=13.8$ , произошедшим 24 августа 2006 г. на расстоянии 220 км от пункта наблюдений.

С ростом временного ряда наблюдений появилась необходимость в систематизации, классификации геоакустических возмущений, их сопоставлению с метеорологическими и сейсмическими каталогами и последующему статистическому анализу. Для автоматизации процесса выявления возмущений была разработана методика и создан программный комплекс.

Для обработки и анализа данных был рассмотрен ряд наблюдений геоакустического сигнала за период 01.11.2002 - 31.12.2007 гг. На первом этапе был подготовлен временной ряд достоверной регистрации геоакустического сигнала. Далее, были определены виды возмущений ГАЭ. Выявлено, что все возмущения ГАЭ либо имеют характерное увеличение среднего уровня сигнала в несколько раз (рис.2), либо носят импульсный характер (отдельные квазипериодически появляющиеся сигналы небольшой продолжительности (рис.3).

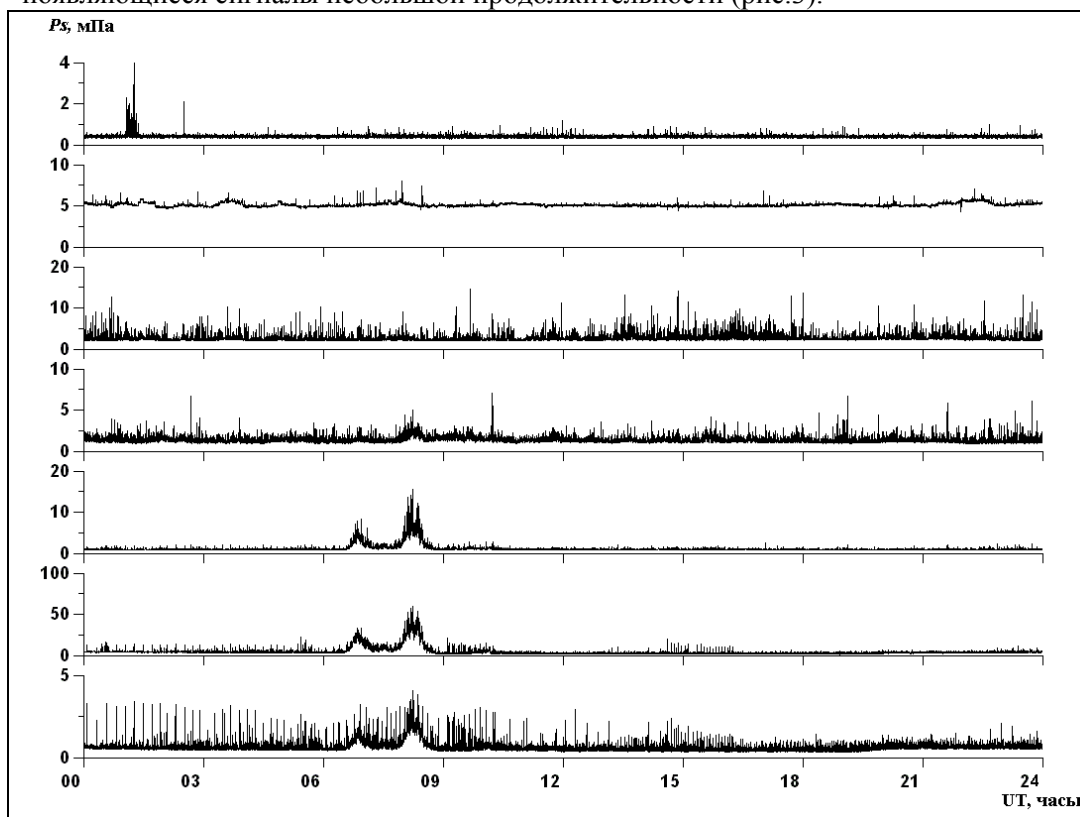


Рис. 1. Пример возмущения высокочастотной ГАЭ перед землетрясением 24 августа 2006 г.

Для автоматического выявления возмущений были определены их пороговые характеристики. Возмущения первого типа (рис.2) имеют длительность более 15 минут, превышение среднего уровня сигнала более чем 4 раза относительно фона. Фоновый уровень определяется в зависимости от сезона года. Для автоматизированного выявления таких возмущений используется следующая методика, основанная на расчёте математического

ожидания. Суточная реализация данных усредняется пятиминутным окном. Далее усреднённый ряд анализируется на наличие возмущений длительностью более 15 минут.

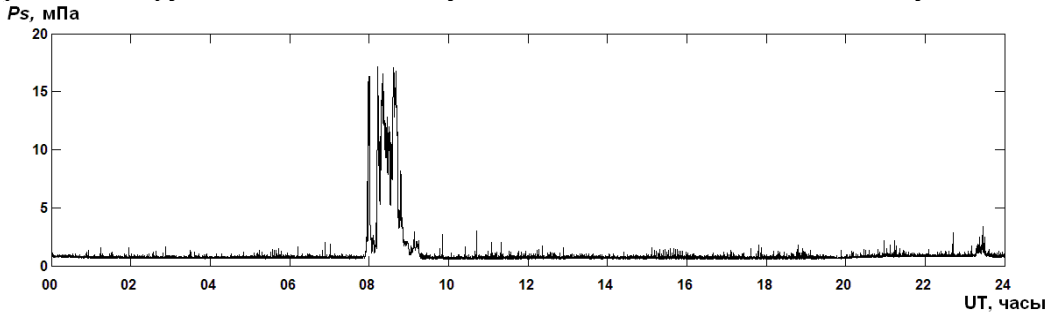


Рис. 2.  
Пример  
возмущения  
ГАЭ.

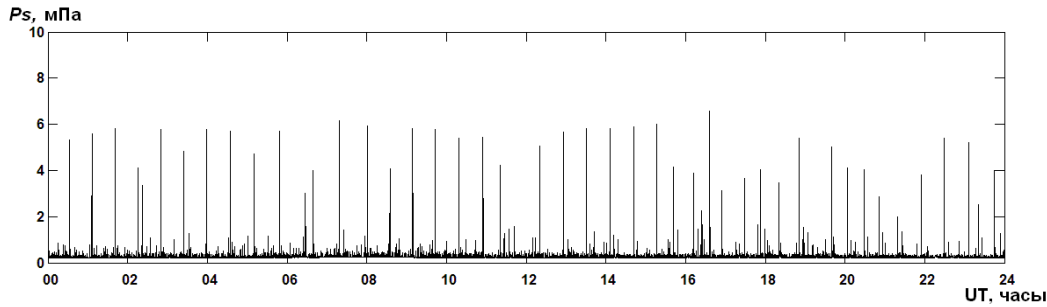


Рис. 3.  
Пример  
возмущения  
ГАЭ.

На (рис.4) изображён пример суточной реализация данных с возмущением первого типа (верхний график). На нижнем графике изображён ряд данных, усреднённый на интервале 5 минут и порог (прямая линия), превышающий фоновый уровень в 4 раза.

Для возмущений, имеющих импульсный характер (рис.3), определены следующие пороговые характеристики: длительность аномалии более 1 часа, скважностью появления импульсов - от единиц до десятков минут. Следует отметить, что предыдущая методика усреднения сигнала не подходит для коротких импульсных сигналов, поэтому используется оценка среднеквадратичного отклонения (СКО) для трёхминутного окна данных и сравнение с СКО фонового периода. Превышение СКО на текущем интервале в 4 раза сигнализирует о начале возмущения. На (рис.5) изображён пример суточной реализация данных с возмущением второго типа (верхний график). На нижнем графике изображён модифицированный ряд данных, полученный после расчёта СКО на трёхминутном интервале и порог, превышающий СКО фонового уровня в 4 раза.

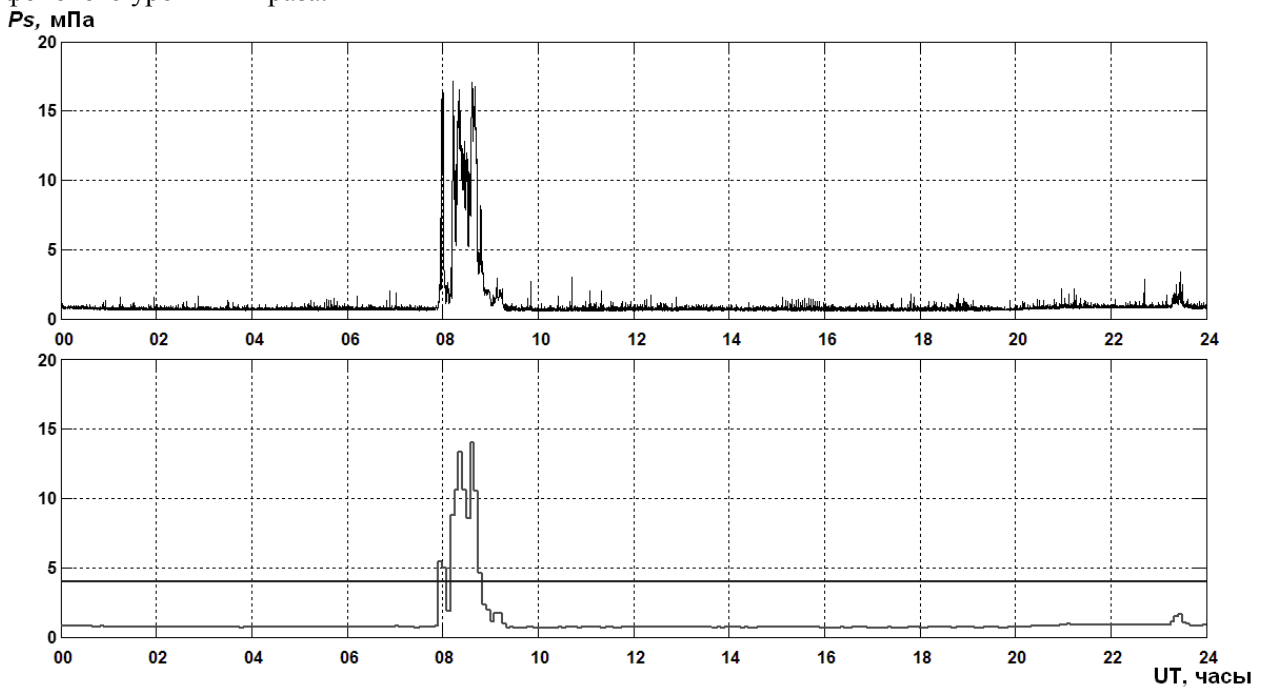


Рис. 4. Пример работы системы выявления возмущений ГАЭ.

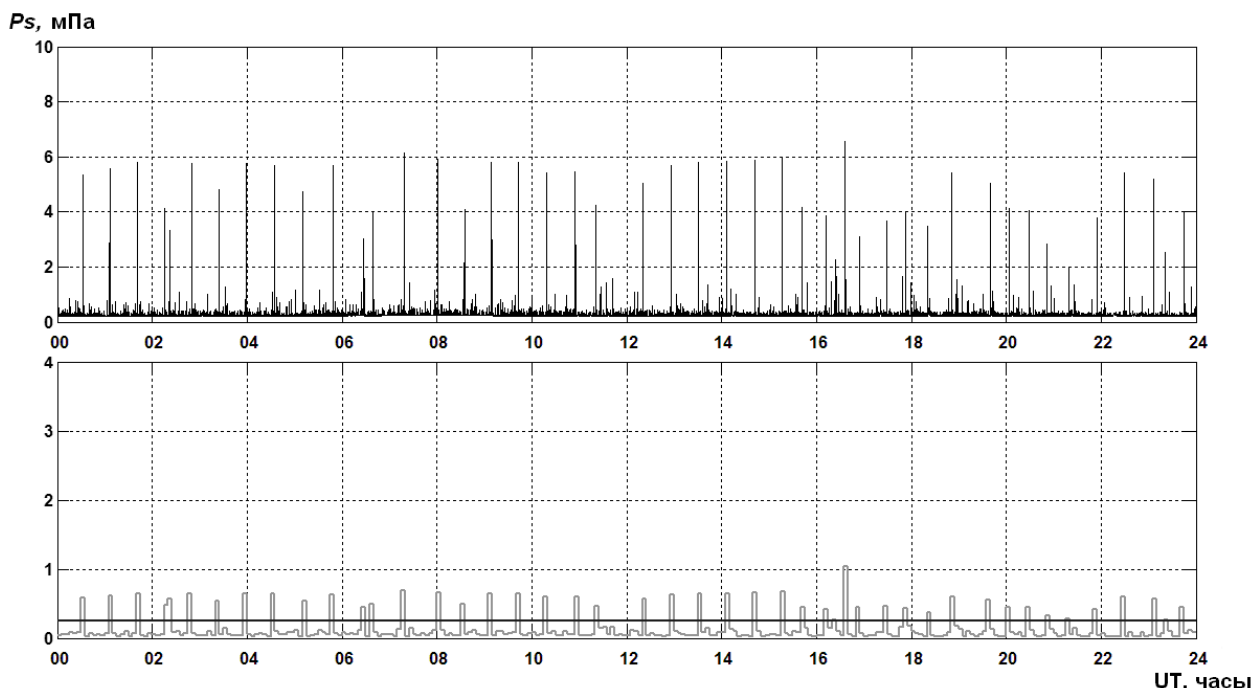


Рис. 5. Пример работы системы выявления возмущений ГАЭ.

Таким образом, временной ряд данных анализируется дважды – вначале на наличие возмущений первого типа, а затем – второго. В результате анализа получен каталог возмущений геоакустической эмиссии за период 2002 - 2007 гг. Всего за указанный период зарегистрировано 710 возмущений.

На следующем этапе произведена очистка каталога от возмущений, обусловленных действием неблагоприятных метеоусловий (наличие осадков и ветра  $> 5$  м/с). Установлено, что многие возмущения ГАЭ первого типа обусловлены неблагоприятными метеоусловиями, в то время как возмущения второго типа часто можно выделить на фоне дождя, и вообще возмущения такого импульсного типа не могут возникать как следствие плохой погоды. Поэтому при простом сопоставлении каталогов геоакустических возмущений и метеопараметров можно удалить возмущения не метеорологической природы. Учитывая этот факт, было произведено следующее. Из геоакустического каталога удалены сплошные возмущения, зарегистрированные в периоды плохой погоды. Каталог возмущений импульсного характера остался без изменений. В результате такой фильтрации, был получен каталог возмущений геоакустической эмиссии за период 2002 - 2007 гг., не обусловленных действием неблагоприятных метеоусловий. Всего в каталоге осталось 445 возмущений.

Полученная база данных по возмущениям геоакустической эмиссии позволяет в дальнейшем производить статистический анализ ее аномалий, предшествующих землетрясениям. Возможно использовать данный каталог для исследования связи возмущений эмиссии с различными геофизическими полями.

#### 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., Купцов А.В., Ларионов И.А. и др. Деформационные и акустические предвестники землетрясений // ДАН. 2007. Т. 413. № 5. С.96-100.
3. Марапулец Ю.В., Мищенко М.А., Щербина А.О., Шадрин А.В. Методы исследования высокочастотной геоакустической эмиссии. // Монография. П-Кам.:КГТУ, 2008., 106 с.