

К ВОПРОСУ ВЫЯВЛЕНИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ, ПРЕДШЕСТВУЮЩИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМ НА КАМЧАТКЕ

Марапулец Ю.В., Мищенко М.А.

*Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
с. Паратунка, Елизовский р-н, Камчатский край, micle@ikir.kamchatka.ru*

На протяжении нескольких лет в ИКИР ДВО РАН ведётся мониторинг сигналов геоакустической эмиссии (ГАЭ). С ростом временного ряда наблюдений появилась необходимость в систематизации, анализе и классификации данных. Данное исследование заключалось в подготовке независимых баз геоакустических, метеорологических и сейсмических данных, их сопоставлении и последующем анализе. Первый шаг – составление периода корректной работы станции наблюдений (временного ряда достоверной регистрации геоакустического сигнала), его анализ на предмет выявления возмущений и составление их каталога. На этом этапе были определены виды возмущений, их длительность и методы их поиска. Далее, из каталога исключались возмущения, обусловленные неблагоприятными метеоусловиями (наличие осадков и сильного ветра) и техногенными помехами, после чего производилось сопоставление с сейсмическим каталогом.

Методика измерений

Для регистрации сигналов ГАЭ 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. 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. Результатом обработки являются суточные файлы.

Примеры возмущений геоакустической эмиссии, предшествующих землетрясениям

Анализ сигналов ГАЭ показал, что перед многими землетрясениями с классом более 10.5 ($M > 4.5$), произошедшими на эпицентральной расстоянии до 350 км от пункта наблюдения, в 1.5 суточном временном интервале наблюдаются сигналы, многократно превышающие фоновый уровень. Продолжительность данного явления - от десятков минут до нескольких часов. Далее за несколько часов до землетрясения ГАЭ возвращается к спокойному фоновому уровню. В качестве примера на рис. 1 представлена реакция ГАЭ перед землетрясением 9 сентября 2005 года в 11:42 UT (класс 11.4, эпицентральной расстояние 278 км). На рис. 1 представлены сигналы на выходе 7 частотных каналов. Возмущение ГАЭ было зарегистрировано за 15 часов до сейсмического события в период с 15:00 до 21:00 8 сентября 2005 г. Из данного рисунка видно, что наиболее сильно аномалия наблюдается в диапазоне 1500 - 6000 Гц. Анализ явления показал, что в данном случае наблюдаются резкое поднятие уровня в несколько раз относительно фонового.

На рис. 2 приведен пример возмущения ГАЭ в период с 20:00 22 августа до 06:00 23 августа 2006 г. перед землетрясением 24 августа в 21:50 UT (класс 13.8, эпицентральной расстояние 220 км). Анализ явления показал, что в данном случае наблюдаются квазипериодические повторяющиеся импульсы, по форме напоминающие микроземлетрясения. При этом наиболее сильно аномалия вновь наблюдается в диапазоне 1500 - 6000 Гц.

Предварительный статистический анализ данных показывает, что более чем в 30% случаев в суточном временном интервале перед землетрясениями наблюдается аномальное повышение уровня

ГАЭ. При этом возможно появление сигналов, представленных на рис. 1 и импульсов, продемонстрированных на рис. 2.

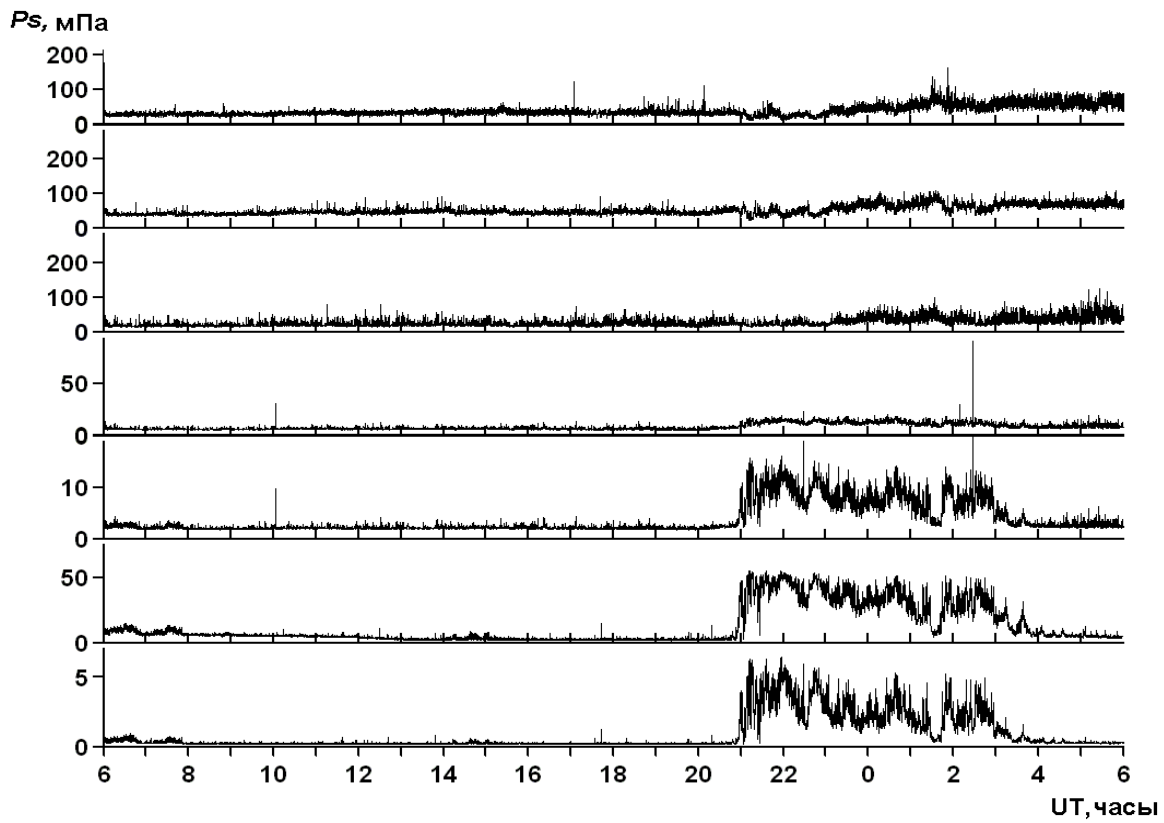


Рис. 1. Возмущение ГАЭ 8 сентября 2005 г.

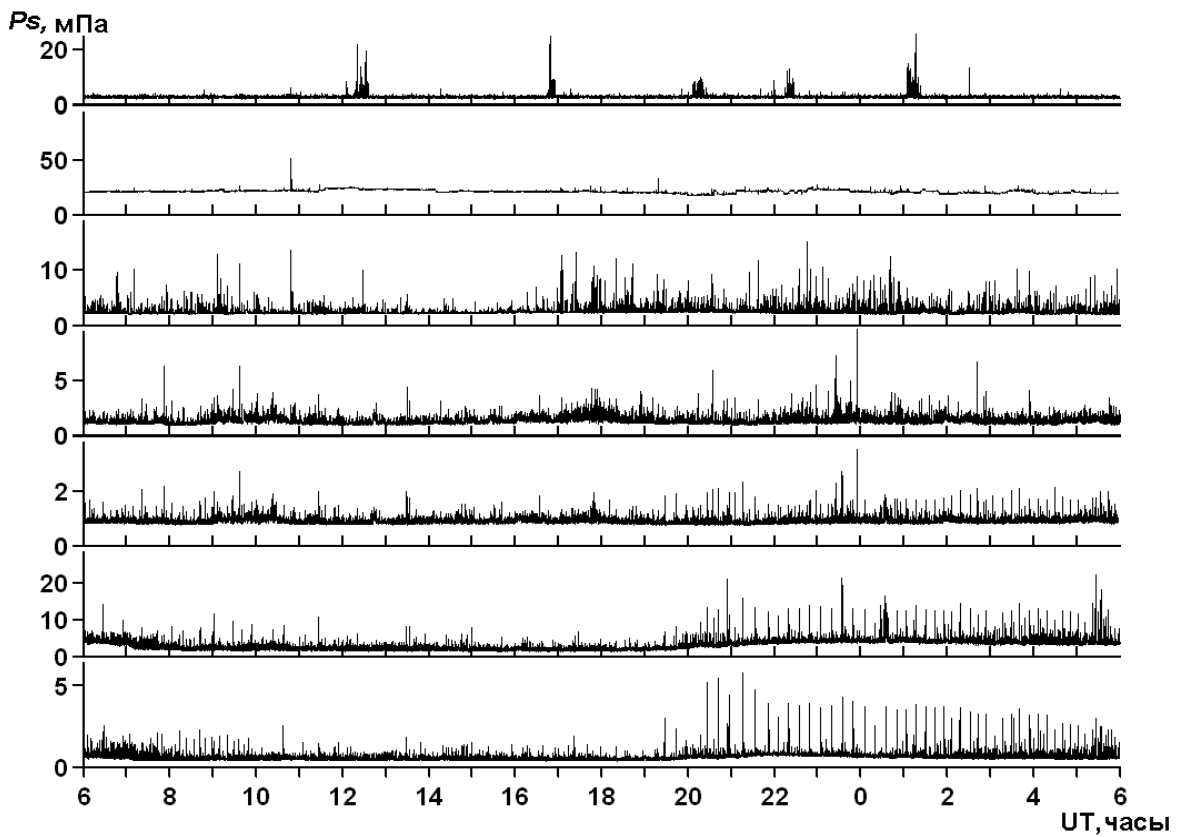


Рис. 2. Возмущение ГАЭ 22-23 августа 2006 г.

Методика выявления возмущений

Для создания каталога возмущений эмиссии используется ряд наблюдений геоакустического сигнала за период 01.02.2002 - 31.12.2007 гг. со станции «Микижа». Первичный анализ данных показал, что все возмущения можно разбить на два типа:

1. Возмущения с характерным увеличением среднего уровня сигнала в несколько раз длительностью более 15 минут (рис. 3).
2. Возмущения импульсного характера с отдельными квазипериодически появляющимися сигналами небольшой продолжительности (рис. 4).

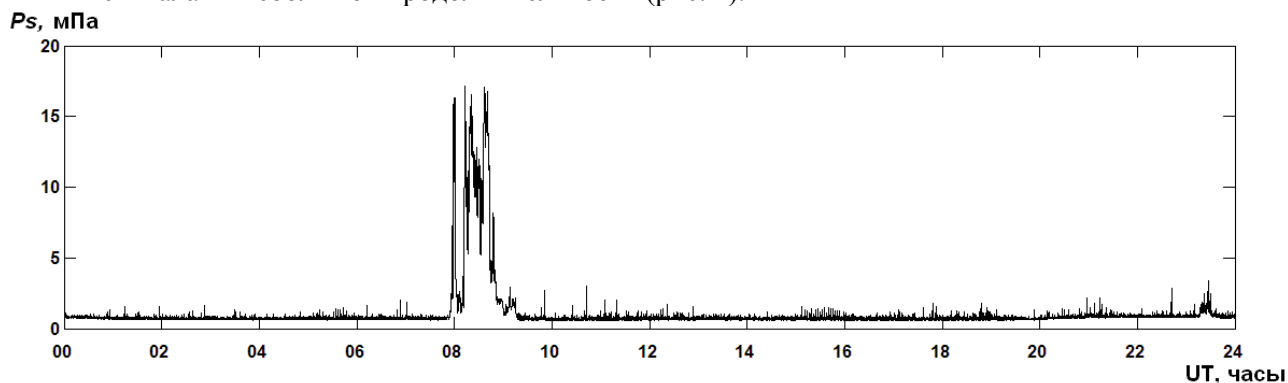


Рис. 3. Пример возмущения ГАЭ

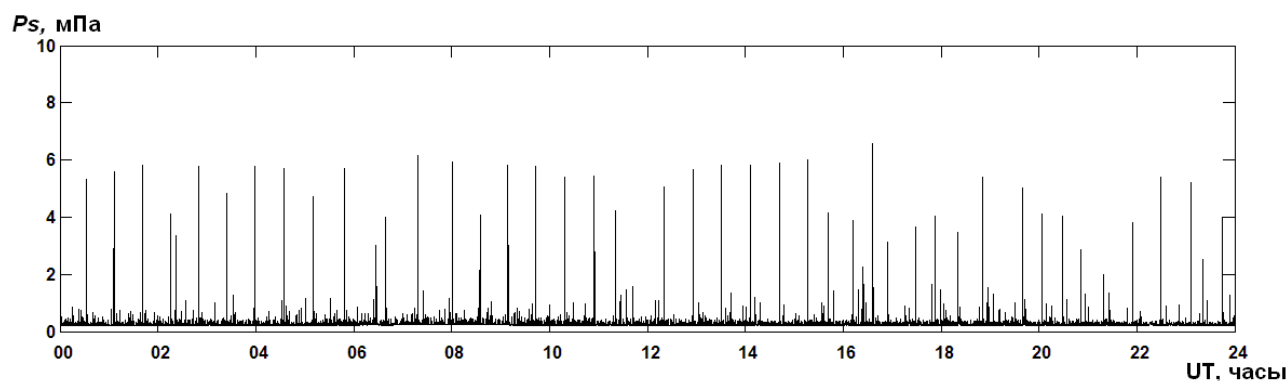


Рис. 4. Пример возмущения ГАЭ

Исследовав более 100 аномалий ГАЭ, предшествовавших землетрясениям, были определены пороговые характеристики возмущений для их автоматического выявления. Для возмущений первого типа: длительность более 15 минут, повышение среднего уровня сигнала более чем 4 раза относительно фонового уровня. 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. На (рис. 5) изображён пример суточной реализации 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 второго типа были определены следующие характеристики: длительность аномалии более 1 часа, скважность появления импульсов варьируется 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.6) изображён пример суточной реализации 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.

Таким образом, временной ряд данных анализируется дважды – вначале на наличие возмущений первого типа, а затем – второго. В результате работы был создан каталог возмущений геоакустической эмиссии за период 2002 - 2007 гг. Всего за весь период было выявлено 710 возмущений. На следующем этапе из каталога были удалены аномалии, обусловленные

неблагоприятными метеоусловиями (осадки и ветер > 5 м/с). В результате в каталоге осталось 445 возмущений.

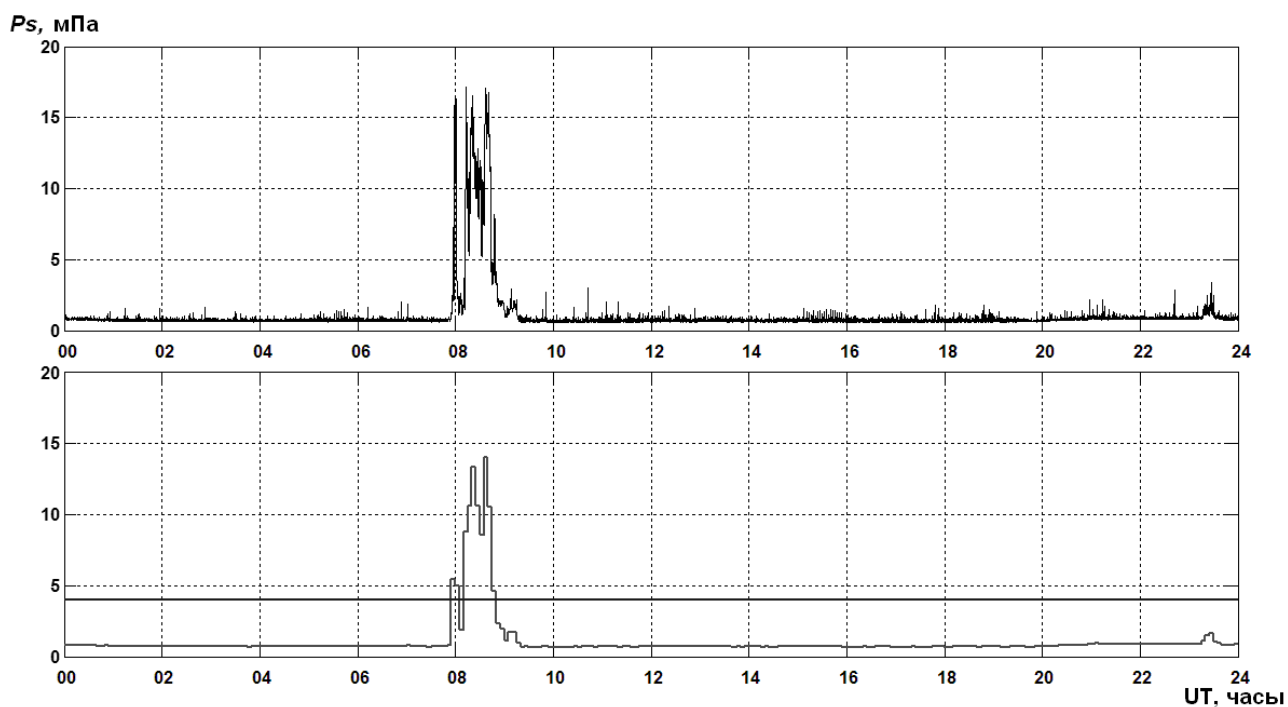


Рис. 5. Пример работы системы выявления возмущений ГАЭ

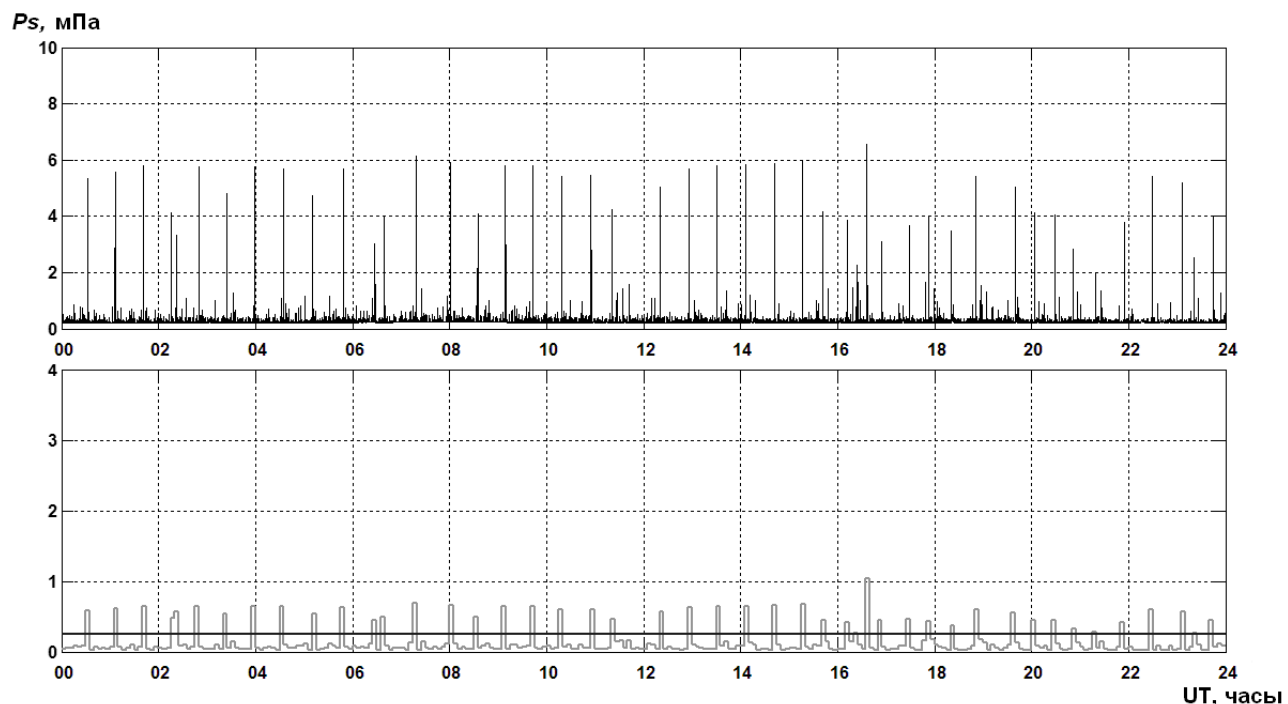


Рис. 6. Пример работы системы выявления возмущений ГАЭ

Выводы

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

При анализе использовались метеорологические данные с метеостанций ИКИР ДВО РАН и данные по сейсмической обстановке, предоставляемые Камчатским филиалом ГС РАН.