

Структура сложного акустического отклика активной геосреды

А.С. Борисов

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, 693022, Ю.-Сахалинск, ул. Науки, 1Б, Россия. E-mail: borisov_as@imgg.ru

В докладе представлены результаты натурных гидроакустических и сейсмических наблюдений сложных акустических откликов напряженно-деформированных блоков геологических пород, слагающих жильные/дайковые структуры в условиях тектонического разлома. Произведен анализ тонкой структуры откликов и выполнена оценка направлений на гипоцентры источников излучения. Обращается внимание на парную пространственно-временную «связанность» некоторых откликов. Представлены результаты сейсмоакустического зондирования, проведенного с целью подтверждения механической «активности» геологических пород, залегающих в разломе.

Results of underwater and seismic observations of compound acoustical responses of stressedly-deformed geological rock blocks forming the vein/dyke structures in conditions of tectonic rupture are presented. Analysis of response fine structure and estimation of directions on hypocentres of emission sources are performed. The paired spatial-time coupling of some responses is underlined. Results of seismoacoustic sounding performed to corroborate the mechanic “activity” of geological rocks interlay in rupture are presented as well.

Введение. Статистические характеристики и различные «аномалии» в интенсивности проявления сигналов геоакустической эмиссии используются для анализа микросейсмичности, составления моделей сейсмических процессов, а также для выделения прогностических признаков готовящегося сильного землетрясения [1,2]. Однако, для получения представлений о физике источника геоакустического излучения необходим еще ряд разноплановых исследований, например, таких как динамическая пассивная акустическая томография развивающихся микротрещин, исследования физико-механических свойств окружающей геосреды, исследования тонкой внутренней структуры конкретных реализаций сигналов акустической эмиссии [3]. Тонкая структура является «собирательным образом» свойств, как самого механизма развития микротрещины, так физико-механических свойств окружающей геосреды, включая каналы распространения акустических сигналов. Таким образом, сигналы геоакустической эмиссии должны иметь характерные отличительные свойства для различных районов наблюдения.

Проведенные гидроакустические озерные и сейсмические береговые наблюдения геоакустической эмиссии на о. Кунашир в 2007 г. показали, что в тонкой структуре сигналов от ряда микроземлетрясений (МЗ) наблюдается процесс плавной динамической перестройки частоты. В качестве объяснения такого явления было сделано предположение, что геологическая среда в данном районе находится в напряженно-деформированном состоянии. Внешние силы или накапливающиеся внутренние напряжения могут послужить, при определенных условиях, «спусковым механизмом» для запуска автоколебательного процесса напряженных геологических активных блоков. Проведенное сейсмоакустическое зондирование данного района подтвердило это предположение, показав, что упругим откликом геосреды на ударное возбуждение является частотно-модулированный (ЧМ) сигнал.

Экспериментальные данные. Запись сигналов осуществлялась с помощью гидрофонов, сейсмометра СМЕ 3111 и двух цифровых сейсморегистраторов Дельта-Геон 02М. На рис.1а представлен фрагмент осциллограммы акустических сигналов записанных гидрофонной станцией. Длительность фрагмента составляет немногим

более двух минут. За это время произошло шесть, примерно одинаковых по длительности МЗ, создавших почти одинаковые уровни звуковых давлений, воспринятых гидрофоном. Из осциллограммы видно, что акустический сигнал от первого МЗ находится на временной оси в районе 1188-1190 с, сигнал от второго – 1193-1195 с. Третье МЗ занимает на оси времени отрезок 1264-1265 с. Акустические сигналы от четвертого и пятого МЗ следуют почти непрерывно друг за другом и вместе занимают временной отрезок от 1272-1274 с. Сигнал шестого МЗ находится в области времен 1276-1278 с.

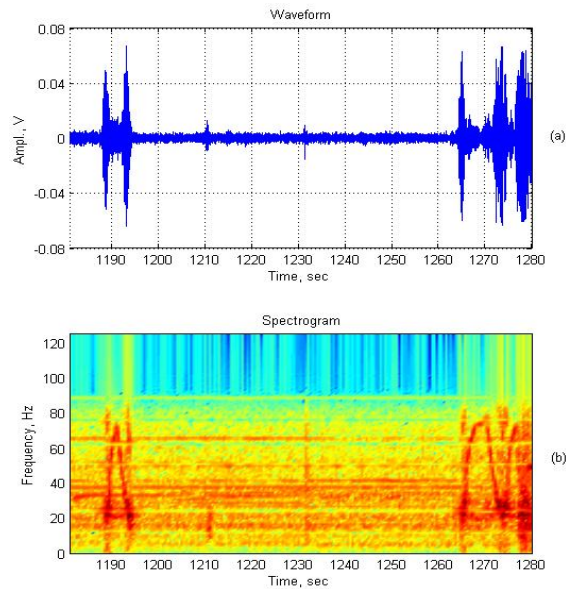


Рис.1. Волновая форма (а) и спектрограмма (b) гидроакустической записи МЗ.

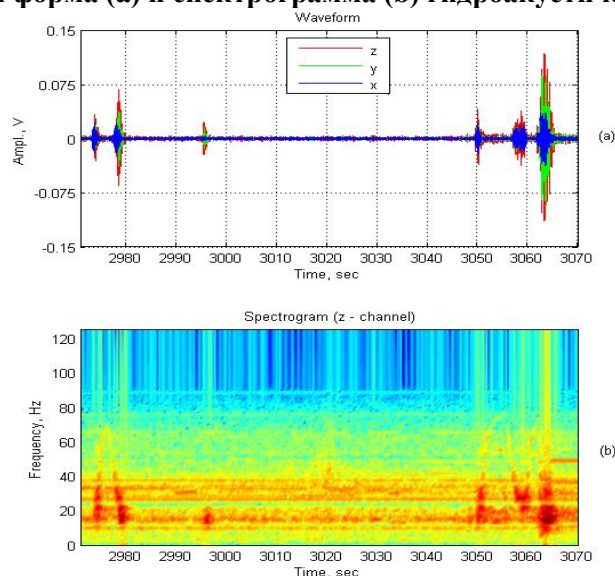


Рис.2. Волновая форма (а) и спектрограмма (b) сейсмоакустической записи МЗ.

Частоты колебаний в импульсных сигналах находятся в диапазоне $\sim 19-30$ Гц. Во временных промежутках между импульсными сигналами первого и второго микроземлетрясений, третьего и четвертого, а также пятого и шестого микроземлетрясений наблюдаются ЧМ акустические излучения, характеризующие локальную динамическую перестройку свойств геосреды. Это хорошо видно на спектрограмме на рис. 1b. Длительность ЧМ сигналов составляет примерно 2, 5 и 3 с, соответственно. Девиация частоты в каждом из трех ЧМ сигналов составляет около 60 Гц. Нижняя частота излучения равна ~ 20 Гц, верхняя ~ 80 Гц. Все три сигнала

относятся к понятию «сложные», так как их базы значительно больше единицы, $B \gg 1$. Для первого сигнала $B=120$, для второго $B=300$ и для третьего $B=180$.

Акустические сигналы от МЗ были обнаружены и в записях сейсмоакустической станции (рис. 2). На рис.2а представлены графики осциллограмм всех реализаций с сейсмоприемника (канал «х» – направление ВЗ, канал «у» – направление СЮ, канал «z» – вертикальное направление), а на рис.2б – спектрограмма реализации с вертикального (z) канала. Видно, что временные и время-частотные структуры полученных сигналов, подобны сигналам с гидрофонов (моменты начала записи сигналов сейсмоприемником и гидрофоном не совпадают в виду не одновременного включения регистраторов).

На основе соотношения энергетических спектров сигналов, принятых вертикальным и горизонтальными каналами, произведена оценка направлений прихода отдельных фрагментов сигналов на сейсмоприемник. Оценка была осуществлена для каждого из шести импульсов и для межимпульсных ЧМ сигналов. Направления на источники излучения показаны в виде отдельных векторов (рис. 3, 4). Каждый вектор соответствует определенной частоте излучения в полосе 1 Гц. Направления на источники определялись для частот излучения $F = 19, 20, 21, 22, 75, 76, 77$ и 78 Гц. Результаты оценки направлений показали, что первый и второй импульсы пеленгуются с одинаковых направлений и по горизонту – $3^{\circ}-22^{\circ}$ СЗ направления и по глубине – $5^{\circ}-18^{\circ}$ относительно горизонта (рис.3 а и б). Третий и четвертый импульсы имеют углы пеленга в пределах $3^{\circ}-60^{\circ}$ СЗ направления и углы заглубления – $1^{\circ}-3^{\circ}$ и $2^{\circ}-5^{\circ}$, соответственно. Пятый и шестой импульсы пеленгуются в диапазоне углов $3^{\circ}-30^{\circ}$ и заглублений – $40^{\circ}-60^{\circ}$. Причем, более высокочастотные составляющие во всех импульсах пеленгуются с углов, больших как по глубине, так и по горизонту в сторону Западного направления – рис. 3с и 4с. Таким образом, можно сделать предположение, о том, что каждая пара импульсов имеет один и тот же очаг МЗ.

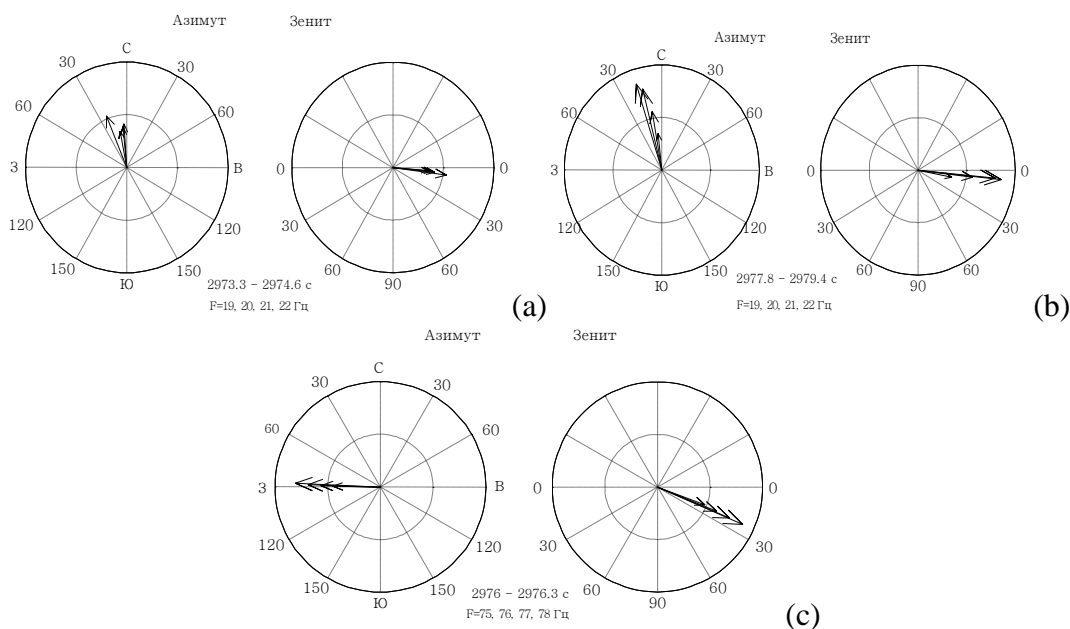


Рис. 3. Направления на источники излучения

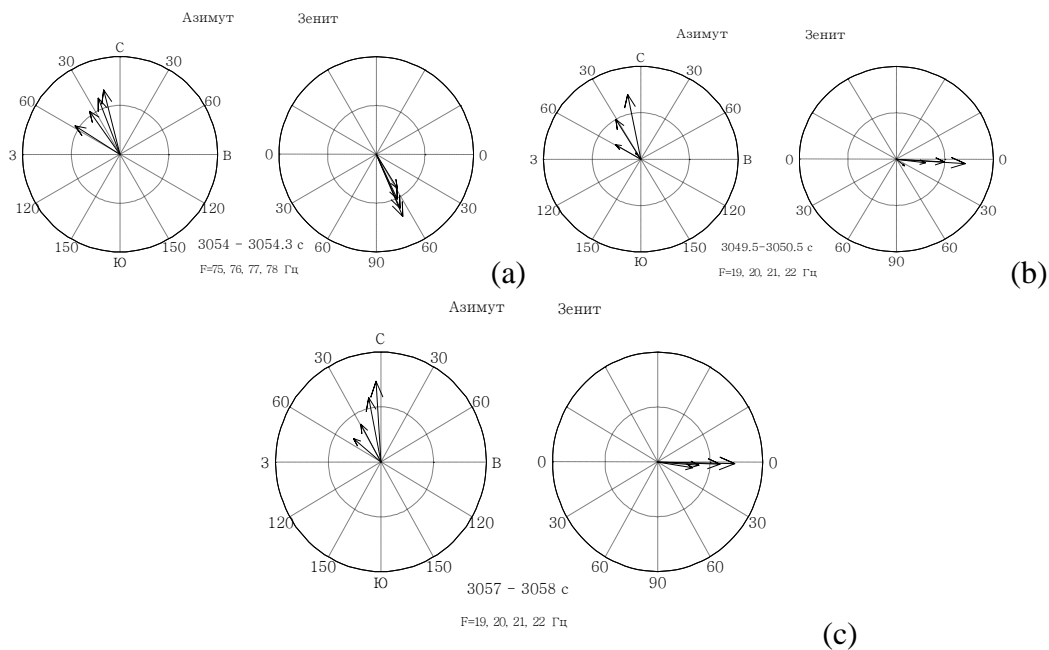


Рис. 4. Направления на источники излучения

Обсуждение. Одним из объяснений такого поведения геосреды может служить следующее. В исследуемом районе находится тектонический разлом, заполненный геологическими породами, часть которых образует множество отдельных жильных и/или дайковых структур [4]. Эти структуры выклиниваются с углами по простиранию СЗ направления и крутыми углами падения. Причем, каждый клин сложен, видимо, из ступенчатых геологических отдельностей (блоков), состоящих из плотных и механически высокодобротных пород, имеющих довольно высокий модуль Юнга и коэффициент Пуассона. Породы, окаймляющие эти структуры, механически слабо контактируют с ними, обеспечивая высокую акустическую добротность клиновидным телам. Благодаря многовековому воздействию внешних тектонических сил и сил, обусловленных вращением Земли, жилы/дайки находятся в напряженно-деформированном состоянии и представляют собой своеобразные «закрученные пружины» (активные блоки). Внешние силы или накапливающиеся внутренние напряжения могут послужить, при определенных условиях, «спусковым механизмом» для запуска автоколебательного процесса напряженных геологических блоков. Сигналы от подобных колебаний мы и наблюдаем на рис. 1 и 2. Здесь колебания изначально вызываются МЗ, возникающими в напряженных породах, находящихся над жилами/дайками. Эти МЗ обуславливают первые импульсные акустические сигналы в каждой паре «связанных» МЗ. Распространяющаяся от очага МЗ деформационная волна (импульс) создает условия для запуска механических автоколебаний первого монолитного напряженно-деформированного блока пород. Этот блок находится в верхней части клина и имеет наибольшие размеры по сравнению с низлежащими а, следовательно, механическая автогенерация этого блока происходит на более низкой частоте. Импульс деформации, возникший в первом блоке во время его собственных механических колебаний, передаётся вниз к следующему (смежному) монолитному блоку, реализуя триггерный эффект, запускающий автогенерацию второго блока и т.д. Самая нижняя геологическая отдельность, имея наименьшие размеры, возбуждается на самой высокой частоте (рис.1b). Возникшая при этом «деформационная волна» отражается от нижней границы самого нижнего в структуре «активного» блока и далее вся «процедура» с возникновением автоколебаний повторяется в обратном направлении, обуславливая теперь триггерный эффект, запускающий второе (в «паре»)

МЗ. Парно «связанные» импульсы имеют примерно одинаковые амплитуды и близкие частотно-временные формы (рис.1, 2), а так же лоцируются с одинаковых направлений (рис.3а,b и рис. 4а,b), что дает основания полагать, что каждая связанная пара МЗ имеют одну свою область образования микроочагов.

С целью подтверждения механической «активности» геологических пород, залегающих в разломе, был проведен эксперимент по определению возможности «запускать» автоколебательные процессы. С помощью аппаратуры для инженерной сейсмоакустической разведки было осуществлено несколько механических ударов в «точках» вдоль предполагаемого залегания активных структур. На рис. 5 показана временная форма и спектрограмма одного из полученных откликов активных пород. Видно, что искусственные удары запускают механизм автогенерации активной (энергонасыщенной) блочной геологической среды. При этом, активная среда, как осциллятор, проявляет большую механическую добротность, чем в случае возбуждения её от естественных МЗ. Наибольшую добротность имеет верхний блок.

Заключение. Представленные результаты наблюдений акустических сигналов, вызванных местными МЗ и реакцией активной геосреды на эти МЗ показывают, что: - МЗ на Кунашире могут инициировать механические автоколебательные процессы в напряженно-деформированных дайковых/жильных структурах; - автоколебательный процесс в дайковой/жильной структуре завершается новым (вторым) МЗ; - диапазон частот упругих волн, вызванных автоколебательными процессами дайковых/жильных структур, может находиться в пределах от 10 до 100 герц; - более высокочастотные источники механических колебаний лоцируются с больших заглублений.

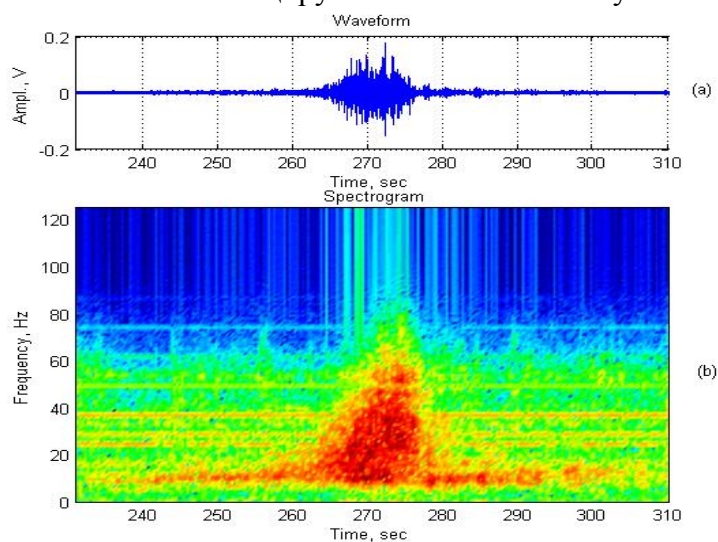


Рис.5. Волновая форма (а) и спектрограмма (б) упругого отклика активных пород.

Литература

1. Рыкунов Л.Н., Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В. Модуляция высокочастотных микросейсм // Доклады АН СССР. 1978. Т.238, №2, с. 303-305.
2. Беляков А.С., Лавров В.С. и др. Изменение фазы суточных вариаций подземного звука в день весеннего равноденствия // Доклады АН, 2000, т. 375, №4, с.531-534
3. Левин Б.В., Борисов С. А. Акустическая активность зоны разлома Невельского Землетрясения // Кн.: Невельское землетрясение и цунами 2 августа 2007 года, о. Сахалин. М.: Янус-К, 2009.
4. Б.Н. Пискунов, А.В. Рыбин Петрохимическая типизация гранитоидов Большой Курильской Гряды //В кн.: Петрология и рудоносность магматических образований Курильской островной дуги, том 2. Южно-Сахалинск, 1997г., с.45-64.