

5. Закупин А.С., Аладьев А.В., Богомолов Л.М. и др. Взаимосвязь электрической поляризации и акустической эмиссии образцов геоматериалов в условиях одноосного сжатия. // Вулканология и сейсмология. 2006. № 6. С. 22-33.
6. Куксенко В.С., Манжиков Б.Ц., Тилегенов К. и др. Триггерный эффект слабых вибраций в твердых телах (горных породах). // ФТТ. 2003. Т. 45. № 12. С. 2182-2186.
7. Мирзоев К.М., Виноградов С.Д., Рузибаев З. Влияние микросейсм и вибраций на акустическую эмиссию. // Физика Земли. 1991. № 12. С. 69-72.
8. Мирзоев К.М., Негматуллаев С.Х., Дастури Т.Ю. Влияние механических вибраций на характер высвобождения сейсмической энергии в районе водохранилища Нурекской ГЭС. Сейсмологические исследования в районах строительства крупных водохранилищ Таджикистана. Душанбе: Дониш. 1987. С.101-119.
9. Богомолов Л.М., Манжиков Б.Ц., Трапезников Ю.А. и др. Виброупругость, акустопластика и акустическая эмиссия нагруженных горных пород. // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. № 10. С. 1678-1689
10. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука. 2 изд. 1982. 620 с
11. Шуберт М, Вильгельми Б. Введение в нелинейную оптику. М: Мир. 1973. 244 с.
12. Назаров В.Е., Радостин А.В. Нелинейные волновые процессы в упругих микронеоднородных средах. Нижний Новгород: ИПФ РАН. 2007. 256 с.
13. Гаврилов В.А., Морозова Ю.В., Сторчеус А.В. Вариации уровня геоакустической эмиссии в глубокой скважине Г-1 (Камчатка) и их связь с сейсмической активностью// Вулканология и сейсмология. 2006. № 1. С.52-67.

**ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИОННОГО И ВЫСОКОЧАСТОТНОГО
ГЕОАКУСТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА В ОСАДОЧНЫХ ПОРОДАХ НА СТАНЦИИ
КАРЫМШИНА**

**INVESTIGATION OF DEFORMATION AND HIGH FREQUENCY GEOACOUSTIC PROCESS
IN SEDIMENTARY AT KARYMSHINA STATION**

И.А. Ларионов, Ю.В. Маранулец, Б.М. Шевцов

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

Investigation of sedimentary deformations is determined by their significant role in many geophysical processes which are considered in seismology, oceanology, mining and so on. Many natural phenomena in sedimentary are the result of its low strength and high plasticity, which are determined by external factors. In mediums with similar properties favorable conditions are formed, where even weak deformation changes occur. This changes entail clearly registered acoustic signals, that is why it is perspective to allocate detection systems in such mediums and to investigate earthquake precursors the appearance of which is determined by sedimentary properties. In the paper the results of joint researches of deformation and high frequency geoaoustic process in sedimentary at Karymshina station are considered. Deformation measurements were carried out by unequal-arm laser deformograph-interferometer. Geoaoustic emission is registered by directed acoustic receivers oriented vertically downward and located around the measuring arm of the deformograph in artificial pools.

Актуальность изучения деформаций осадочных пород обусловлена их важной ролью во многих геофизических процессах, которые рассматриваются в сейсмологии, океанологии, горном деле и т.д. Широкий круг природных явлений в осадочных породах связан с их малой прочностью и высокой пластичностью, которые существенно зависят от внешних факторов. Благодаря этим свойствам даже низкие напряжения в таких средах вызывают появление хорошо регистрируемых акустических сигналов, что и было обнаружено в ряде работ по исследованию геоакустических предвестников землетрясений [1,2], но как они связаны с характеристиками деформационного процесса, этот вопрос оставался открытым. Так же необходимо было выяснить, каковы масштабы этого процесса, и возможна ли связь деформационных изменений в пунктах наблюдений с источниками напряжений в областях, которые удалены на сотни километров.

В настоящее время в системе регистрации геоакустических сигналов на станции Карымшина используется приемная система направленных акустических приемников, установленных в небольших искусственных водоемах. С выходов приемников сигналы в диапазоне частот 0.1-11000 Гц усиливаются, обрабатываются фильтрами по частотам 0.1-10, 10-50, 50-200, 200-700,

700-1500, 1500-7000, 7000-11000 Гц, подаются на амплитудные детекторы, накапливаются за 4 с, оцифровываются и регистрируются в компьютере. Подробно принцип организации наблюдений с помощью направленных приемников изложен в работе [3]. В непосредственной близости от акустических приемников установлен лазерный деформограф-интерферометр, неравноплечного типа с измерительной базой 18 метров, позволяющий оценивать относительные деформации до 10^{-8} [4]. Для удаления из регистрируемого сигнала метеорологической составляющей был применен метод дифференцирования и в результате получена временная зависимость скорости изменения деформаций. Для анализа сейсмической обстановки использовались данные Камчатского филиала геофизической службы РАН.

Сейсмические события, возникающие в радиусе до 250 км и свыше 11 класса, являются одними из естественных калибровочных сигналов, регистрируемыми системами наблюдений (рис.1.) По этим оценкам скорости продольных и поперечных волн близки к справочным скоростям в коренных породах и составляют порядка 5-6 км/с и 3-4 км/с соответственно.

В данной работе основное внимание уделено деформационным и акустическим измерениям осадочных пород в периоды подготовки сейсмических событий. При анализе широкополосного акустического сигнала обнаруживается достаточно простая его структура, представляющая собой череду случайных импульсов ударного происхождения с частотой заполнения около нескольких кГц. Наблюдаемые геоакустические импульсы с некоторым фоновым уровнем формируют геоакустическую эмиссию.

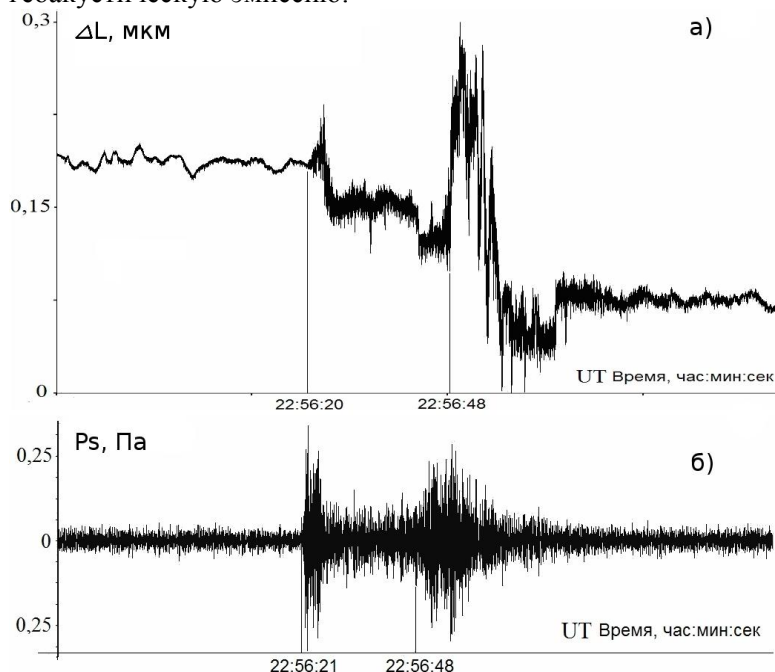


Рис.1. Сейсмическое событие 29 апреля 2007 года, класс 11,2, расстояние до пункта наблюдений 197 км. Зарегистрировано а) Деформографом-интерферометром (ΔL), б) Акустическим приемником (Ps).

Как показано в работах [5-9], геоакустическая эмиссия в обычном спокойном состоянии имеет низкий фоновый уровень и относительно редкую частоту следования импульсов. Однако, как правило, в преддверии сильных сейсмических событий, на расстояниях не более 200 км, геоакустическая эмиссия на протяжении до нескольких десятков часов имеет возмущенный вид. Он определяется повышенным фоновым уровнем и увеличенной амплитудой и частотой следования высокочастотных импульсов.

Повышение интенсивности высокочастотной геоакустической эмиссии в приповерхностных осадочных породах на существенном расстоянии от эпицентров сейсмических событий обусловлено ростом локальных напряжений, характер изменения которых в связи с этим эффектом остается все еще невыясненным. Такие свойства шумов можно объяснить высокой чувствительностью геоакустической эмиссии к деформационным процессам, возникающим в период подготовки землетрясений.

За время наблюдений было выявлено два вида деформационных изменений и соответствующих им акустических возмущений в преддверии сильных сейсмических событий. На рис. 2 показаны графики сигналов с обеих систем наблюдений, произошедших за сутки до сейсмического события, на которых видно, что деформации с амплитудой до 1 мкм и скоростью до 100 нм/с, в направлении растяжения и сжатия, соответствуют возмущению до 2,5 мПа в высокочастотном акустическом сигнале [11].

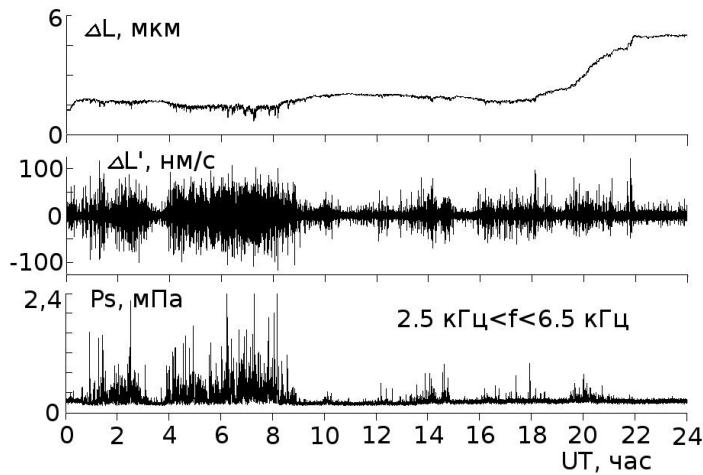


Рис.2. Деформационные изменения (ΔL), скорость деформаций ($\Delta L'$) и высокочастотный акустический сигнал (P_s) 1 мая 2007 года.

Второй вид возмущений наблюдаемых полей показан на рис. 3, из которого видно, что за 36 часов до землетрясения класса 11,9 произошло возмущение геоакустического сигнала, продолжительностью около 12 часов. Амплитуда возмущения в высокочастотном диапазоне составила около 5 мПа и, как видно из увеличенного фрагмента, представляет собой череду импульсов большой амплитуды и повышенный фоновый уровень, в сравнении со спокойным периодом до и после возмущения. Одновременно с изменениями в акустическом сигнале произошел рост деформационного процесса в сторону растяжения базы деформографа, который составил в начальный период около 40 мкм за 5 часов. В дальнейшем происходили резкие скачки деформаций, а в целом изменение составило порядка 6 мм. На увеличенных фрагментах рис. 3 показаны некоторые участки в период возмущения (а, б) и для сравнения – в спокойный период наблюдения (в).

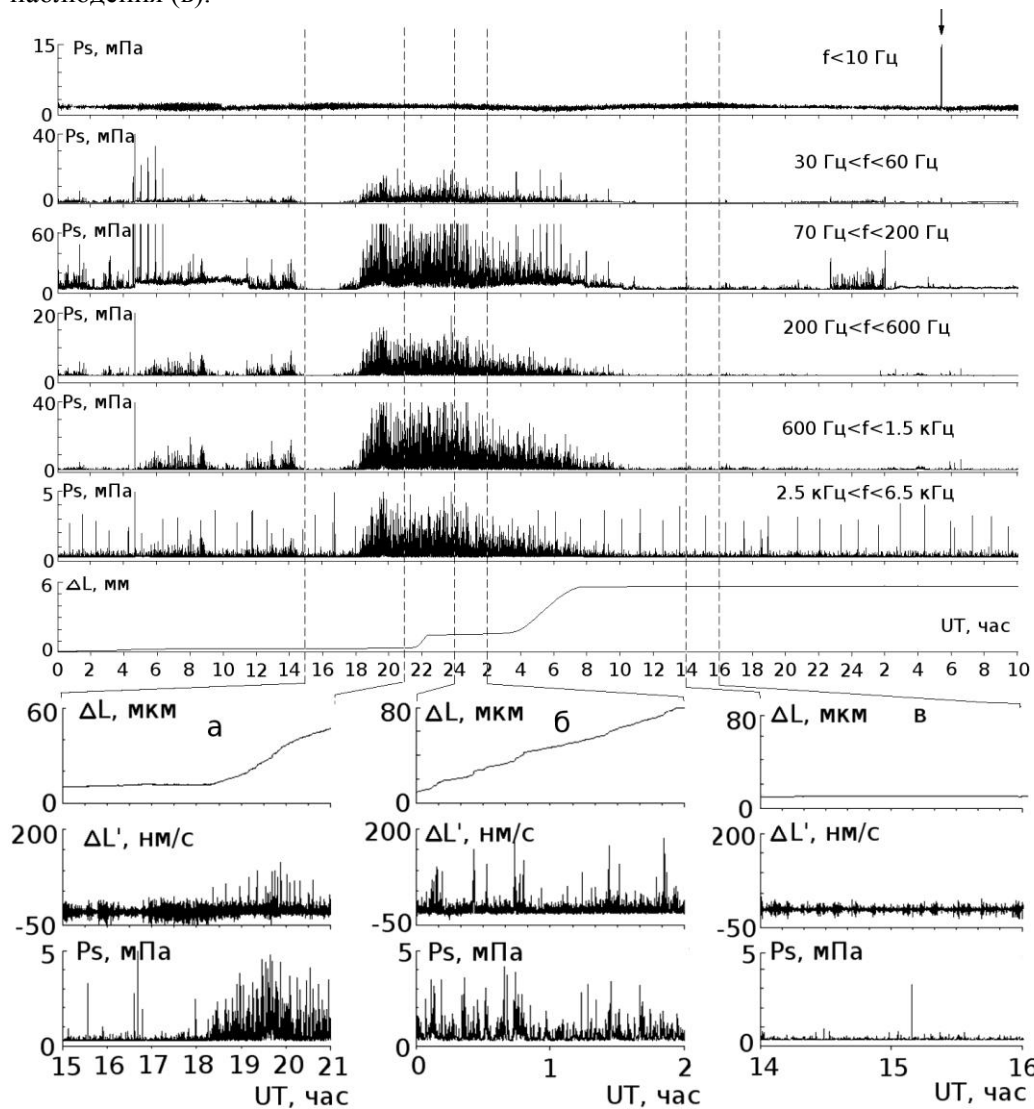


Рис.3. Акустический сигнал в частотных диапазонах и деформационный процесс с 6 по 8 октября 2009 года. В нижней части (а, б, в) показаны увеличенные фрагменты записи. ΔL – деформации, $\Delta L'$ – скорость деформаций, P_s – акустическое давление на увеличенных фрагментах $f = 2.5-6.5$ кГц.

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., Марапулец 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., Марапулец 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