

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АНИЗОТРОПИИ ГЕОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НА ОЗЕРЕ МИКИЖА ВЕКТОРНО-ФАЗОВЫМИ МЕТОДАМИ

RESULTS OF STUDY OF GEOACOUSTIC SIGNAL ANISOTROPY OF THE MIKIZHA LAKE BY VECTOR-PHASE METHODS

В.А. Гордиенко¹, Т.В. Гордиенко¹, Ю.В. Марапулец², А.О. Щербина²

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

²Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

Research of anisotropy was carried out by a vector-phase combined hydroacoustic receiver, placed in a natural pond (the Mikizha Lake) in Kamchatka. Geoacoustic signal is a sequence of shock pulses in the frequency range 0,1 Hz - 10 KHz with the average duration 200 ms and the amplitude 0.1-1 Pa. Registered impulse frequency was used as a quantitative characteristics to evaluate signal anisotropy. It was discovered that there is a local area in the pond in the angle range 0 – 50 degrees relatively the location of the receiver; this area generates the main quantity of geoacoustic signal.

Для детального исследования анизотропии геоакустического излучения на различных стадиях сейсмической активности на Камчатке на озере Микижа на глубине около 5 метров установлена приемная система, реализующая векторно-фазовые методы определения направления прихода сигнала. В качестве приемного устройства использован векторно-фазовый комбинированный приемник (ВФП), разработанный в ЗАО «Геоакустика» при ФГУП ВНИИФТРИ, который позволяет одновременно регистрировать три взаимно ортогональных проекции колебательной скорости и акустическое давление в диапазоне частот 0-10 кГц [1]. Внешний вид приемника и его характеристики направленности представлены на рис.1.

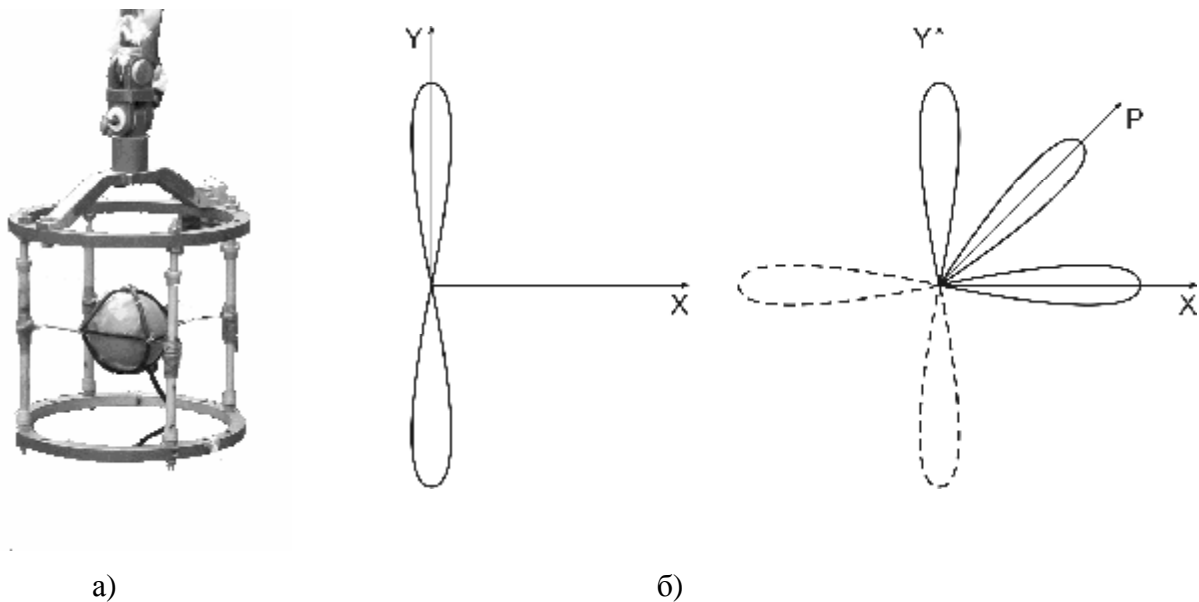


Рис.1. Внешний вид (а) и характеристики направленности (б, слева – одиночный приемник колебательной скорости; б, справа – характеристика в горизонтальной плоскости) векторно-фазового комбинированного приемника.

Для изучения геоакустических сигналов разработан специализированный программно-аппаратный комплекс. Техническая часть состоит из ВФП, усилителя электрических сигналов и IBM совместимого компьютера с 2 звуковыми картами, обеспечивающими синхронность передачи данных по каналам. Программная часть – это специально разработанные программы для регистрации в режиме реального времени и детального анализа записанного сигнала в условиях лаборатории.

Анализ геоакустических данных показал, что широкополосный сигнал с гидрофона представляет собой череду ударных импульсов с амплитудой 0.1-1 Па [1, 2]. Установлено,

что частота следования импульсов зависит от относительных деформаций и меняется в широких пределах – от одиночных щелчков на временном интервале несколько секунд в фоновый период до десятков и даже сотен щелчков в секунду. Для примера на рис. 2 вверху приведен 3-х минутный фрагмент записи акустического сигнала, а внизу – одиночный импульс из этого фрагмента.

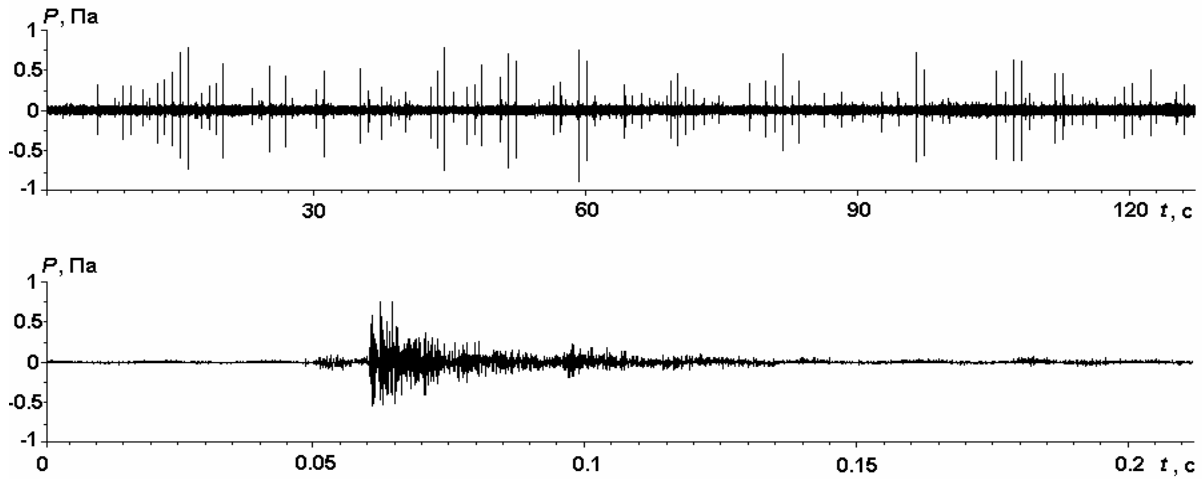


Рис.2. Фрагмент записи сигнала в диапазоне частот (вверху) и одиночного импульса из этого фрагмента (внизу) при возмущении акустической эмиссии, P - давление.

Для анализа акустического сигнала с ВФП используется его представление в полярных координатах (рис.3), что, в частности, позволяет определить направленность на источник импульса.

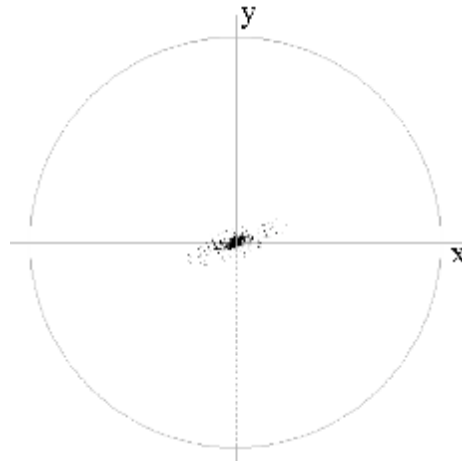


Рис.3. Представление импульса в полярных координатах.

Программа обработки позволяет автоматически найти и зарегистрировать импульсы в записанных данных. При этом в результате создается файл-перечень всех найденных импульсов с описанием основных характеристик - времени регистрации и угла прихода с дискретностью 5 градусов. Далее определяется зависимость количества импульсов $N'(a)$, зарегистрированных в единицу времени (1 секунда) с каждого направления (геоакустическая активность) и строится ее сглаженный график.

$$N'(a) = \frac{dN(a)}{dt},$$

где $N(a)$ - количество импульсов, зарегистрированных с данного направления,

$$a = 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, \dots, 355^\circ.$$

Для анализа анизотропии геоакустических сигналов на Камчатском полигоне в период осень – весна 2004 – 2005 года ВФП был установлен на озере Микижа, далее он был снят и установлен заново в октябре 2006 года. Место 2 установки отдалено на 10 метров на юго-восток относительно первого периода. Оценка пространственных характеристик геоакустической активности в спокойный (фоновый) период производилась в дни с отсутствием ярко-выраженных продолжительных высокочастотных акустических аномалий, обусловленных повышением активности деформационного процесса или погодными условиями (ветер, дождь). Для примера на рис.4 представлен график поведения акустического сигнала за 15.11.2004 года. Анализируемой величиной выбрано суммарное за 4 с акустическое давление P_s в наиболее информативном частотном диапазоне 2 – 6.5 кГц [2]. Штриховой линией на графике указана геоакустическая активность $N' = \frac{dN}{dt}$, количественные значения которой представлены на правой оси ординат. В сигнале присутствуют лишь случайные акустические выбросы со значительными спокойными периодами между ними.

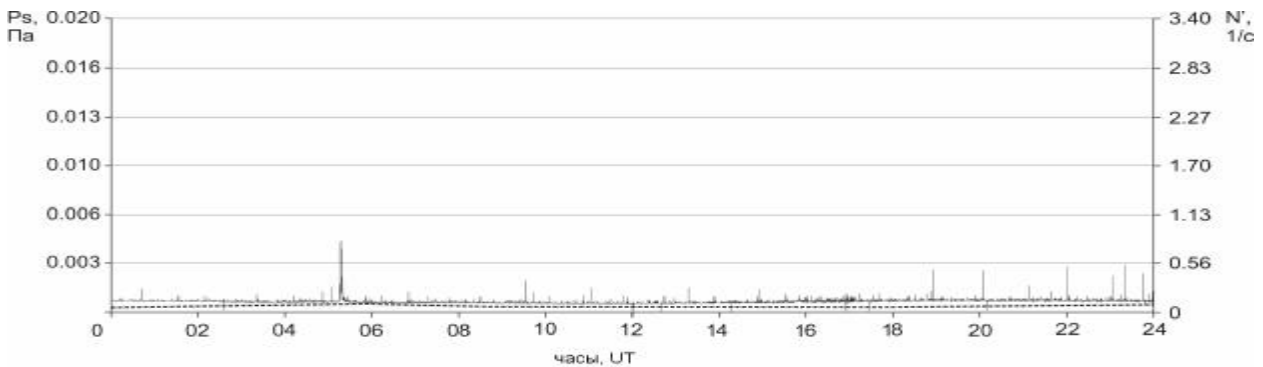


Рис.4. Акустическая эмиссия с озера Микижа за 15.11.2004 года.

В результате обработки фоновых данных построены усредненные графики геоакустической активности за исследуемые периоды: осень - весна 2004-2005 года (рис.5, а) и осень – весна 2006-2007 годов (рис.5, б).

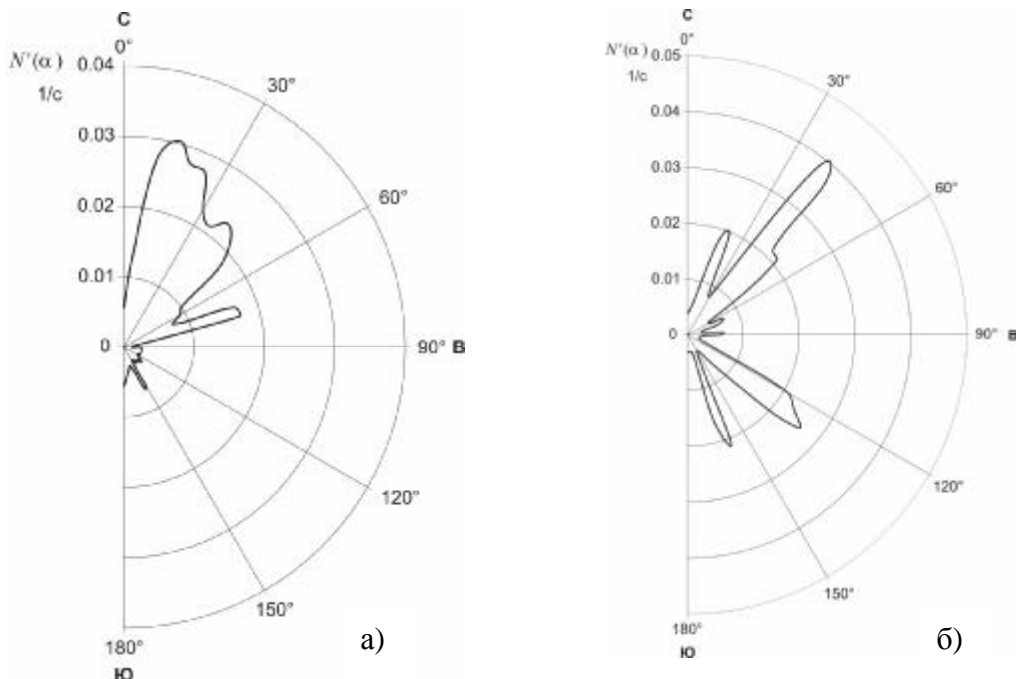


Рис.5. Усредненный график геоакустической активности $N'(a)$ за периоды: а – осень-весна 2004-2005 года; б – осень-весна 2006-2007 годов.

Из полученной диаграммы за 2004-2005 г.г. видно, что в месте измерения имеется активная область, расположенная на 10° – 75° относительно северного направления, наиболее интенсивно излучающая акустические импульсы. Данная область достаточно неоднородна, наиболее активные части расположены на 15° - 25° и 60° , в которых интенсивность следования импульсов доходит до 0.02 в секунду. Кроме этого имеются небольшие активные области на 120° и 150° относительно северного направления, которые могут быть отражениями от берегов. В диаграмме за 2006-2007 г.г. имеются некоторые изменения, которые вероятно обусловлены достаточно большим периодом, прошедшим со времени первой установки и сдвигом ВФП на 10 метров в юго-восточном направлении. В данном случае имеются активные области по направлению 25° , 40° , 130° и 160° относительно северного направления. Первые две области, по всей видимости, являются результатом изменения области 10° – 75° с 2004-2005 года, а 2 последние – области 120° и 150° с 2004-2005 года с большей активностью. Разница в 10 градусов в этом случае обусловлена изменением места установки ВФП.

Таким образом, формирование диаграмм активности импульсов фоновый период обусловлено акустическими сигналами, сгенерированными локальными неоднородностями, расположенными в непосредственной близости от места установки ВФП. Основным фактором, обуславливающим наличие таких областей, является особенности в геологической структуре прилегающей к озеру территории. Анализ геологического строения местности показывает [3], что на расстоянии около 500 – 600 метров на северо-востоке от озера Микижа проходит «новейший рельефообразующий, возможно сейсмоактивный разлом, скрытый под вышележащими рыхлыми образованиями», который, по всей видимости, и оказывает значительное влияние на фоновый уровень активности геоакустической эмиссии.

В периоды установки ВФП наблюдались аномальные возмущения в поведении АЭ, обусловленные влиянием сейсмотектонического процесса. Данное явление наблюдалось в условиях отсутствия сильного ветра и осадков и не может быть обусловлено влиянием метеорологических факторов. Ранее подобные явления неоднократно наблюдались на системе, построенной на приемниках акустического давления и установленной на озере Микижа с 2001 года [2].

Например, 10.11.2004 в 21:47 UT на расстоянии 15 км по направлению 107° относительно измерительной системы произошло землетрясение класса 9.1. Несмотря на достаточно низкий класс события, в период с 04 до 11 часов наблюдалось значительное увеличение усредненного акустического сигнала и, одновременно с этим, увеличение частоты следования импульсов (рис.6). По осям ординат данного графика отложены те же параметры, что и на рис.3. Такая реакция АЭ вероятно обусловлена близким расстоянием до эпицентра землетрясения и тем фактом, что землетрясение произошло в непосредственной близости от разлома, рассмотренного ранее (рис.7). На рисунке разлом показан сначала непрерывной, а в продолжение – штриховой линией.

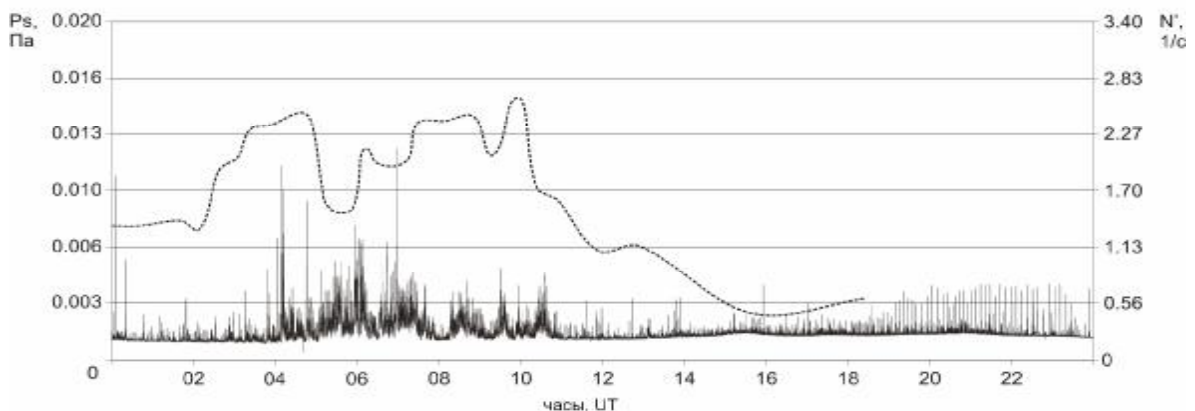


Рис.6. Акустическая эмиссия с озера Микижа за 10.11.2004 года

Из рисунка явно просматривается взаимосвязь акустического сигнала в диапазоне 2 – 6.5 кГц с активностью геоакустических импульсов. При этом их одновременный рост наблюдается только в целом, имеются и различия в процессах. Например, около 6 часов UT наблюдается повышение уровня акустической эмиссии и одновременное небольшое снижение активности импульсов. Это обусловлено сложной природой регистрируемого сигнала, состоящего не только из импульсной составляющей, но из более сложных по форме сигналов, которые не выявляет автоматическая система распознавания импульсов.

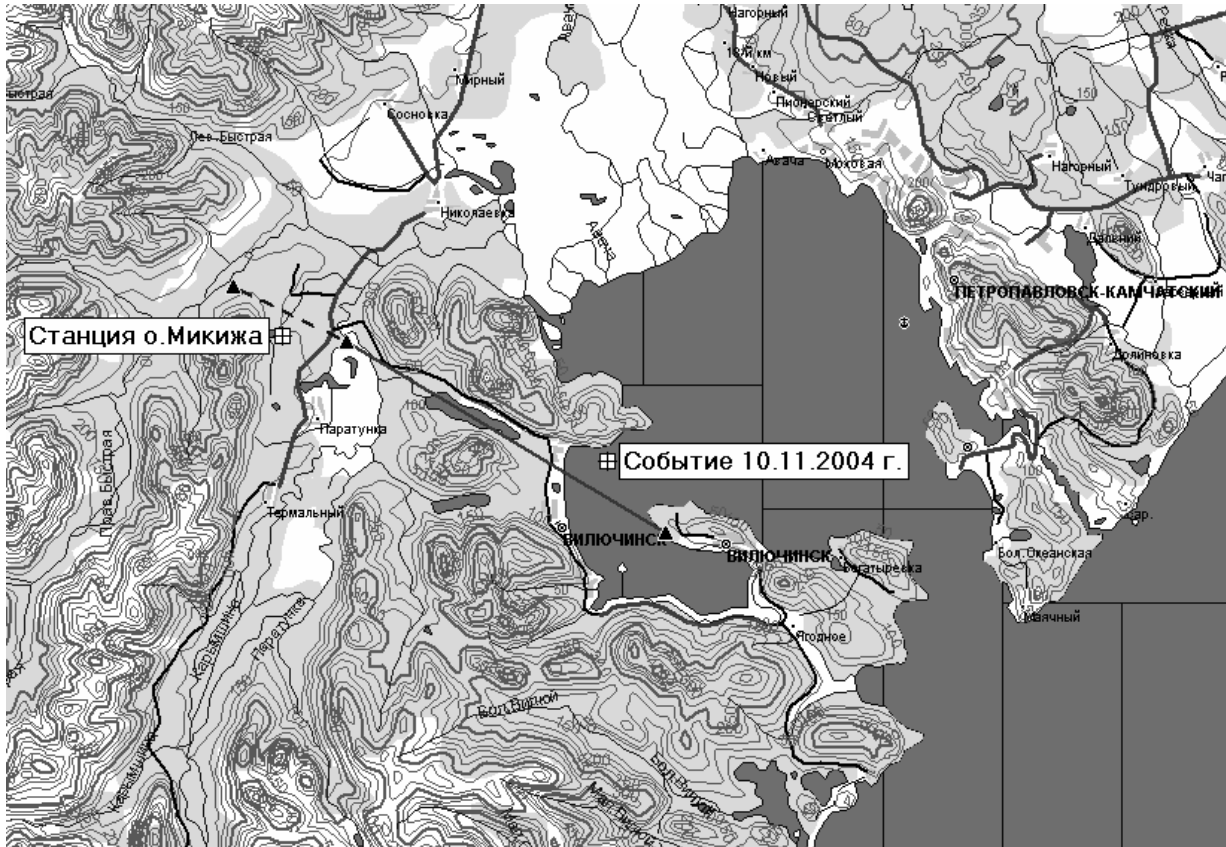


Рис.7. Карта с землетрясением 10.11.2004 года.

На рис.8 представлены графики геоакустической эмиссии в различные временные периоды развития аномалии (в правом нижнем углу каждого графика в увеличенном масштабе показан диапазон до 0.1 $N'(a)$, более жирным цветом показан усредненный фоновый уровень 2004-2005 г.). Из графика видно, что в первую половину активного периода наблюдается значительное увеличение количества импульсов (до 25 раз), регистрируемых из области, расположенной на 25° относительно северного направления. Эта область ранее была указана как самая активная в фоновый период 2004-2005 г.г. (рис.4). При этом геоакустическая активность с остальных направлений несоизмеримо мала. Далее начиная с 8 часов UT на фоне снижения уровня активности с основного направления, наблюдается увеличение геоакустической активности с других направлений, в том числе совпадающих с общим направлением на готовящееся сейсмическое событие. В целом период спада общей активности характеризуется нестабильной диаграммой направленности, выраженной в частой смене вторичных активных направлений (рис.8 г-е).

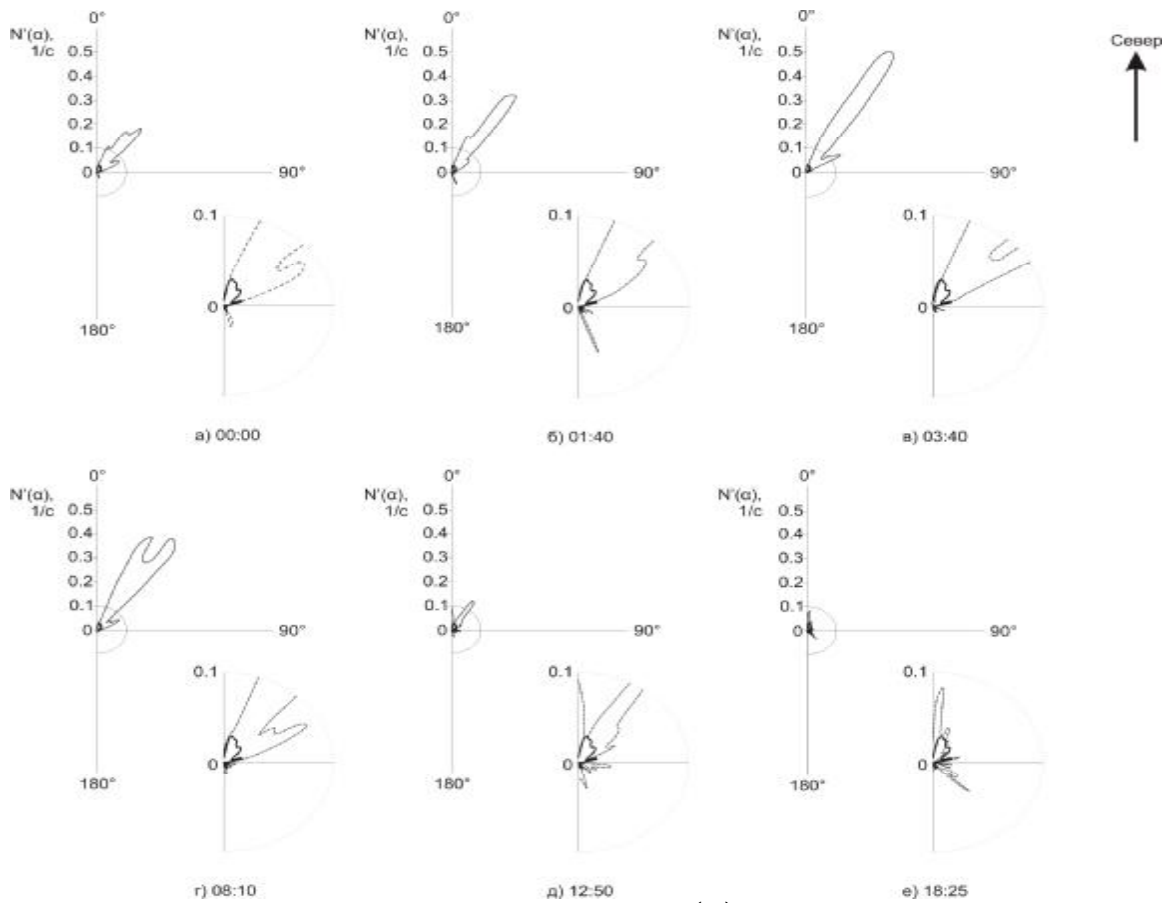


Рис.8. График геоакустической активности $N'(a)$ за 10.11.2004 года.

2 мая 2007 года в 12:00 UT на расстоянии 153 км по направлению 113° относительно измерительной системы произошло землетрясение класса 12.1. В период с 00 до 17 часов UT 1 мая наблюдалось значительное увеличение усредненного акустического сигнала и, одновременно с этим, геоакустической активности (рис.9). Анализ взаимосвязей акустического сигнала в диапазоне 2 – 6.5 кГц с активностью геоакустических импульсов показывает, что повторяются закономерности, выявленные ранее по событию 10.11.2004.

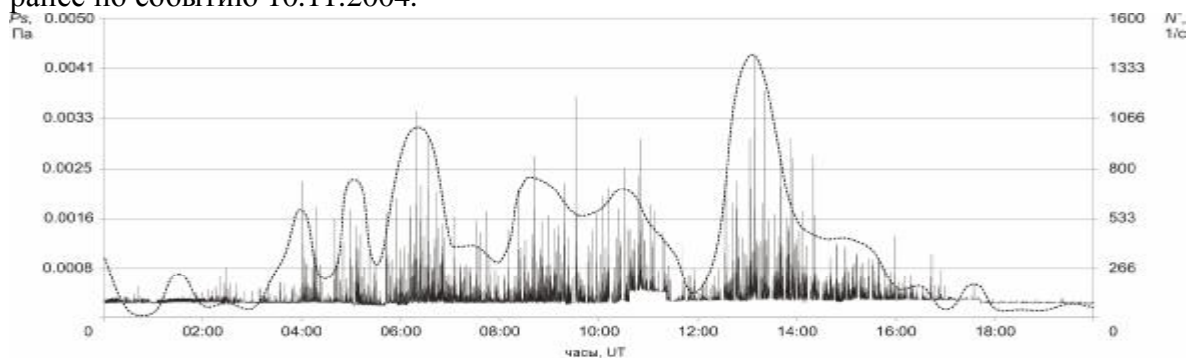


Рис.9. Акустическая эмиссия с озера Микижа за 1.05.2007 года.

На рис.10 представлены графики геоакустической эмиссии в различные временные периоды развития аномалии. Из графика видно, что, как и 10.11.2004 г. в первую половину активного периода наблюдается значительное увеличение количества импульсов, регистрируемых из области, расположенной на 25° относительно северного направления. При этом геоакустическая активность с остальных направлений несоизмеримо мала. Далее, начиная с 5 часов UT, наблюдается увеличение геоакустической активности с других направлений, в первую очередь с направления 170° - 180° . К концу суток величина активности приближается к фоновому значению.

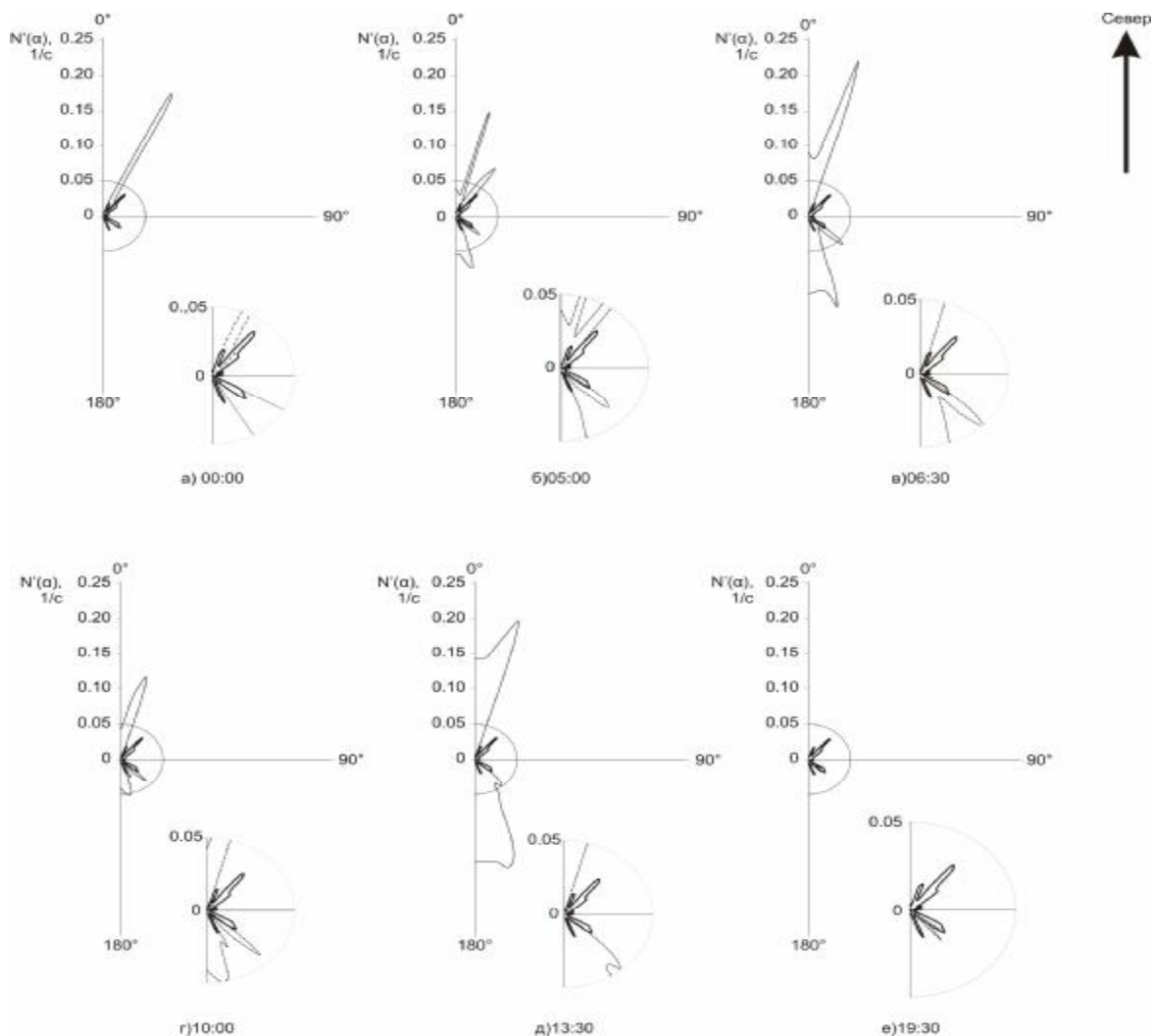


Рис. 10. График геоакустической активности $N'(a)$ за 1.05.2007 года.

В результате проведенной работы изучены фоновые характеристики геоакустической эмиссии озера Микижа, определены наиболее активные локальные излучающие области. Введено понятие геоакустической активности, определены ее значения в фоновый и активный период. Установлено, что при подготовке сейсмических событий в плоскости разлома, расположенного в непосредственной близости к озеру Микижа (диапазон улов 100° - 120°) в суточном временном интервале до землетрясения возникают аномальные увеличения геоакустической активности по направлениям, соответствующим активным областям фонового периода. Основным направлением в этом случае является направление 25° , которое соответствует направлению на кратчайшее расстояние до разлома.

Список литературы

1. Гордиенко В.А., Гордиенко Т.В., Купцов А.В., Ларионов И.А., Марапулец Ю.В., Рутенко А.Н., Шевцов Б.М. Геоакустическая локация областей подготовки землетрясений // Доклады АН. 2006. Т. 407, № 5. С. 669-672.
2. Купцов А.В., Ларионов И.А., Шевцов Б.М. Особенности геоакустической эмиссии при подготовке камчатских землетрясений. // Вулканология и сейсмология. 2005. № 4. С. 45-59.
3. Отчет о результатах гидрогеологического доизучения с инженерно-геологическими и геоэкологическими исследованиями и картографированием масштаба 1:200 000 проведенного на территории листа N-57-XXVII в 1991-1996 г.г. Отв. исп. ведущий гидрогеолог, к.г.-м.н. А.И. Сережников/ Камчатнедра, 2000.