

УДК 550.343

ОТКЛИК ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ НА ПРОЦЕСС ПОДГОТОВКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РАЗНЫХ ПУНКТАХ НАБЛЮДЕНИЙ

© 2005 И. А. Ларионов, А. О. Щербина, М. А. Мищенко

*Институт космифизических исследований и распространения радиоволн
ДВО РАН, 684034, с. Паратунка, Камчатская обл., Елизовский р-н., ул. Мирная, 7
Тел. /Fax: (415-31) 33-7-18, ikir@ikir.kamchatka.ru
Адрес для переписки: 684034, с. Паратунка, Камчатская обл., Елизовский р-н., ул. Мирная, 7
Тел. /Fax: (415-31) 33-7-18, omen@ikir.kamchatka.ru*

При помощи двух измерительных систем, размещенных на суше в искусственном водоеме и на озере, расположенных в двадцати километрах друг от друга, проводятся многолетние наблюдения геоакустической эмиссии в частотном диапазоне 0.1–10000 Гц с целью выявления и изучения изменений в характеристиках геоакустических шумов, соответствующих заключительной стадии развития сейсмических событий. Наблюдения показали, что в некоторых случаях в высокочастотной части спектра в течение суток до события наблюдалось сильное и продолжительное увеличение сигнала, многократно превышающее уровень фона. Проведен сравнительный анализ высокочастотных возмущений, одновременно регистрируемых на разных пунктах измерения, с целью выделения общих характерных особенностей. Показано, что величина, а также возникновение аномального сигнала геоакустической эмиссии, предшествующего сильным сейсмическим событиям, зависит не только от энергетического класса, глубины залегания очага и расстояния до эпицентра готовящегося землетрясения, но и от его местонахождения, а также от местонахождения самих приемных систем и способа их установки. Можно предположить, что одновременно возникающие высокочастотные аномалии геоакустической эмиссии в разнесенных пунктах наблюдений обусловлены деформационными процессами, активизирующимися перед сейсмическим событием.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно существующим представлениям о механизмах подготовки сейсмических событий, медленное и продолжительное сжатие горных пород сменяется быстрым ростом упругих напряжений, приводящих к лавинному трещинообразованию (Райс, 1982), которое сопровождается геоакустической эмиссией. В связи с возможностью ее использования для наблюдений за состоянием горных пород и выявления этапов подготовки землетрясений большое внимание уделялось исследованию ее характеристик в различных условиях (Соболев, 2003).

В последние годы сейсмоакустическая эмиссия регулярно наблюдается в скважинах (Беляков и др., 2002), туннелях (Горбатиков и др., 2001), на дне океана (Лаппо и др., 2003; Sassorova et al., 2003) и водоемов (Купцов и др., 2003). Исследуются как фоновые характеристики акустических сигналов,

так и аномалии, приуроченные к сейсмическим событиям.

Основные сомнения в возможностях таких наблюдений связаны с сильным ослаблением высокочастотных сигналов. На частоте 3 кГц коэффициент ослабления акустических колебаний в осадочных породах равен примерно 260 дБ/км, а в базальтах — всего 1.5 дБ/км. При этом длина ослабления сигнала (по амплитуде в e раз) составит 33 м и 5.9 км, соответственно. Если предположить, что акустические колебания проходят основное расстояние от источников по базальтам и только в точке приема преодолевают незначительный слой осадочных пород, то становится очевидной возможность наблюдения высокочастотных сигналов трещинообразования на больших расстояниях. С помощью использованных в данной работе приемников наблюдения в базальтах можно осуществлять на удалении до 50 км. Эту цифру можно увеличить, если учесть, что существуют вол-

новодные условия распространения сигналов, понижающие их ослабление, и нелинейные механизмы преобразования слабозатухающих низкочастотных колебаний в высокочастотные сигналы, дальность обнаружения последних при этом возрастает. В области образования трещин плотность мощности столь высока, что нелинейные механизмы распространения сигналов на начальной стадии играют основную роль. Еще можно учесть, что деформации из будущих очагов землетрясений распространяются на десятки и сотни километров (Алексеев, 2001), в результате чего области трещинообразования могут находиться значительно ближе к точке приема, чем гипоцентры. Перечисленные выше факторы создают условия для проявления интенсивных высокочастотных акустических аномалий, сопровождающих процессы подготовки землетрясений с удалением гипоцентров до 100- 200 км, и определяют пространственное распределение их слышимости (Ларионов, 2004). Ниже будут рассмотрены такие распределения и связанные с ними вероятности обнаружения сигналов.

В данной работе представлены результаты анализа сигналов геоакустической эмиссии, приуроченных к сильным сейсмическим событиям, полученных при помощи гидроакустических систем, размещенных в разных пунктах наблюдения на суше.

МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ

Для регистрации сигналов использовались две приемные системы, установленные в небольших водоемах. Одна из таких систем размещена на дне укрытого бассейна, размерами $2 \times 2 \times 2 \text{ м}^3$ в пункте комплексных геофизических наблюдений (КГЭП) на р. Карымшина ($52.49^\circ \text{ с.ш.}, 158.09^\circ \text{ в.д.}$), а другая — на удалении 20-ти км к северу на дне оз. Микижа ($52.60^\circ \text{ с.ш.}, 158.14^\circ \text{ в.д.}$), его площадь $200 \times 700 \text{ м}^2$, а наибольшая глубина 4 метра. Приемные гидроакустические системы представляют собой многоканальную систему из четырех пьезокерамических приемников градиента давления, расположенных по сторонам света и вертикально вниз.

Средняя чувствительность приемников с предусилителями в килогерцовом диапазоне составляет сотни мВ/Па (рис. 1).

Регистрация акустических шумов со всех четырех направлений осуществлялась непрерывно через полосовые фильтры в диапазонах частот: 0.1–10, 10–50, 50–200, 200–700, 700–1500, 3000–7000, 7000–11500 Гц. Частотно разделенные сигналы через амплитудные детекторы подавались на интеграторы и после четырехсекундного накопления оцифровывались и записывались в компьютер. Одновременно, для более детального анализа, производится запись на жесткий диск акустических шумов в режиме реального времени в полосе частот 0–22 кГц (рис. 2).

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПУНКТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Используемые в наблюдениях две одинаковые измерительные системы по способу своей установки оказались помещенными в разные условия. Одна система размещена на дне естественного озера в равнинной местности, вторая — в искусственном водоеме в низине, зажатой между сопками, имеющими высоту более 1000 м, образующая отдельную микроклиматическую зону, что определенным образом влияет на воздействие погодных факторов на получаемый системами сигнал. В случае размещения системы в закрытом водоеме ветровая помеха оказывает влияние только на частотные каналы до 500 Гц (рис. 3), на озере же при скорости ветра свыше 15 м/с образуются буруны, брызги от которых создают помеху в высокочастотной части спектра.

Водоемы, где размещены системы, имеют разные геометрические размеры и, следовательно, различаются по своим акустическим характеристикам, которые оказывают определенное влияние на принимаемый датчиками сигнал. Основным таким фактором являются резонансы объемов, в которых помещены датчики, возникающие при совпадении частоты установившихся внешних колебаний с одной из собственных частот данного объема. Собственные частоты бассейна 375 Гц,



Рис. 1. Результаты калибровки датчиков. По оси ординат отложена чувствительность, измеряемая в мВ/Па (мВольт / Паскаль), по оси абсцисс — частота в кГц.

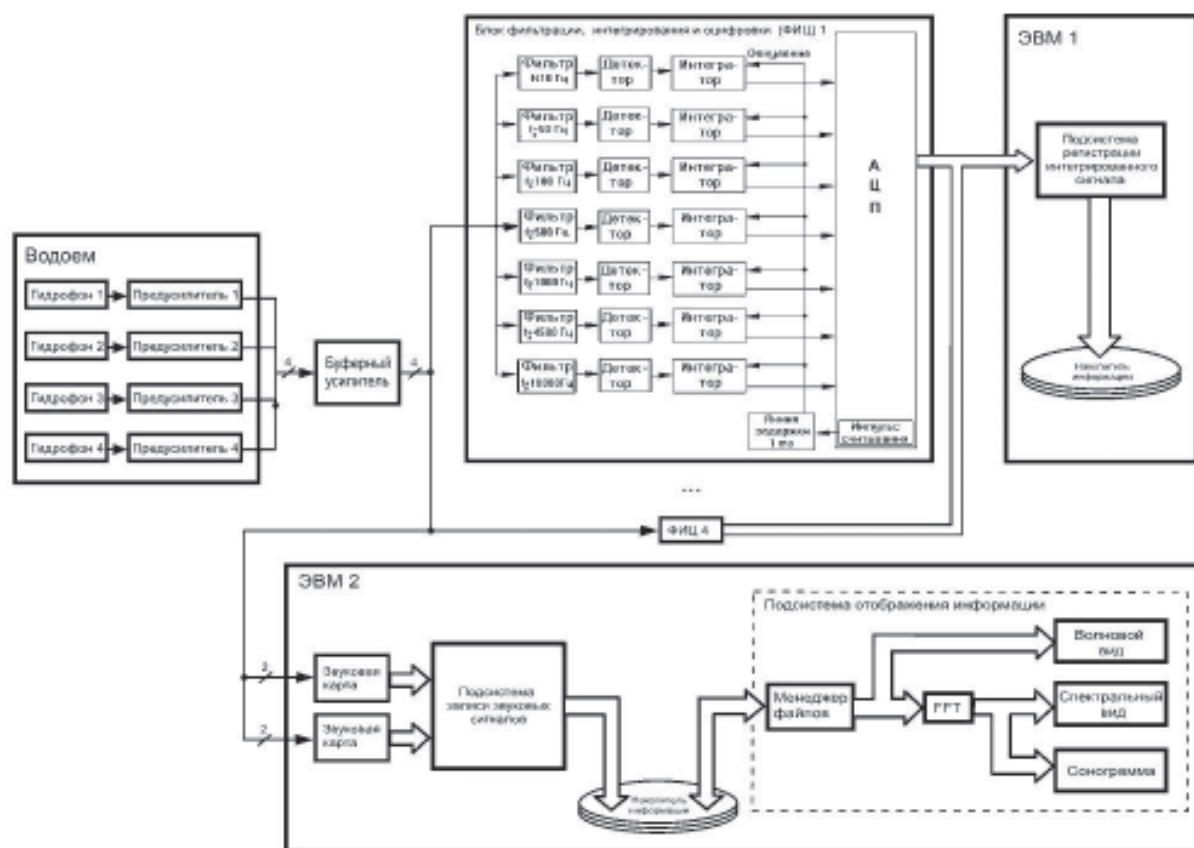


Рис. 2. Схема измерительного тракта.

530 Гц, 650 Гц, 750 Гц, 840 Гц, 920 Гц и т.д., озера 187 Гц, 265 Гц, 365 Гц, 419 Гц, 459 Гц, 496 Гц и т.д. Подземный фоновый шум, как показали проводимые ранее работы по его исследованию (Беляков, 2002), находится в более низкочастотной части спектра (до 100 Гц), и следовательно, не способен вызывать резонансные явления в данном объеме (Купцов, 2005).

Техногенные помехи (шум самолетов, подъезжающего транспорта) вызывали кратковременные возмущения, которые довольно просто учитывались при интерпретации данных.

АНОМАЛИИ В АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛАХ

В результате предварительного анализа, было выявлено, что многим сейсмическим событиям предшествуют некоторые изменения в характере акустической эмиссии, которые выражались в виде резкого продолжительного повышения амплитуды (рис. 4. а, б) или периодически появляющихся импульсов (рис. 4. в, г).

Анализ проводился в ретроспективном режиме, т.е. после сильного сейсмического события (свыше 11 энергетического класса) производился поиск изменений в характере геоакустического сигнала, и, наоборот, в случае обнаружения ано-

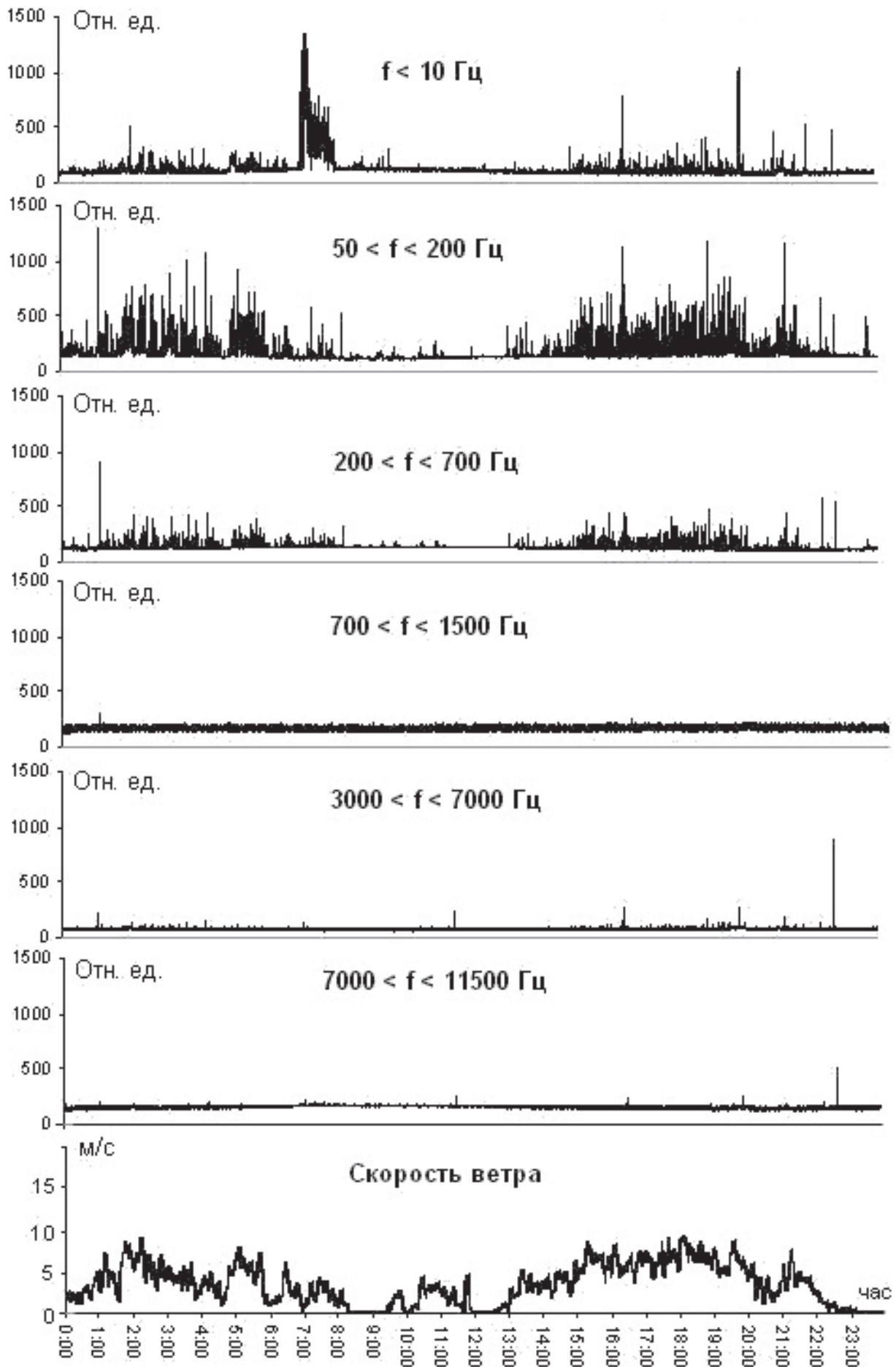
мального сигнала производилась привязка его к сейсмическим событиям в регионе. При анализе использовались данные по сейсмической обстановке, предоставляемые Камчатской опытно – методической сейсмологической партией (КОМСП).

В связи с сильным затуханием высокочастотные геоакустические сигналы не передаются на большие расстояния, а создаются вблизи пунктов наблюдений в результате трещинообразования под действием деформаций, распространяющихся из очагов будущих землетрясений. Поэтому сигналы, принимаемые в каждом из пунктов наблюдения, наряду с общими чертами, имеют свои характерные особенности.

На рис. 5 изображены диаграммы аномальных сигналов, одновременно зарегистрированных на двух пунктах 4 августа 2004 года, когда произошли сразу несколько событий свыше 12-го энергетического класса на расстоянии 140 км в течение короткого промежутка времени в одном и том же районе. За несколько часов до землетрясения наблюдалось сильное резкое повышение амплитуды

Рис. 3. Влияние скорости ветра на частотные каналы. На каждой из диаграмм указана соответствующая ему частота. По оси ординат отложены относительные единицы, по оси абсцисс – часы. На нижней диаграмме – модуль скорости ветра в абсолютных единицах (м/с).

ОТКЛИК ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ НА ПРОЦЕСС ПОДГОТОВКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ



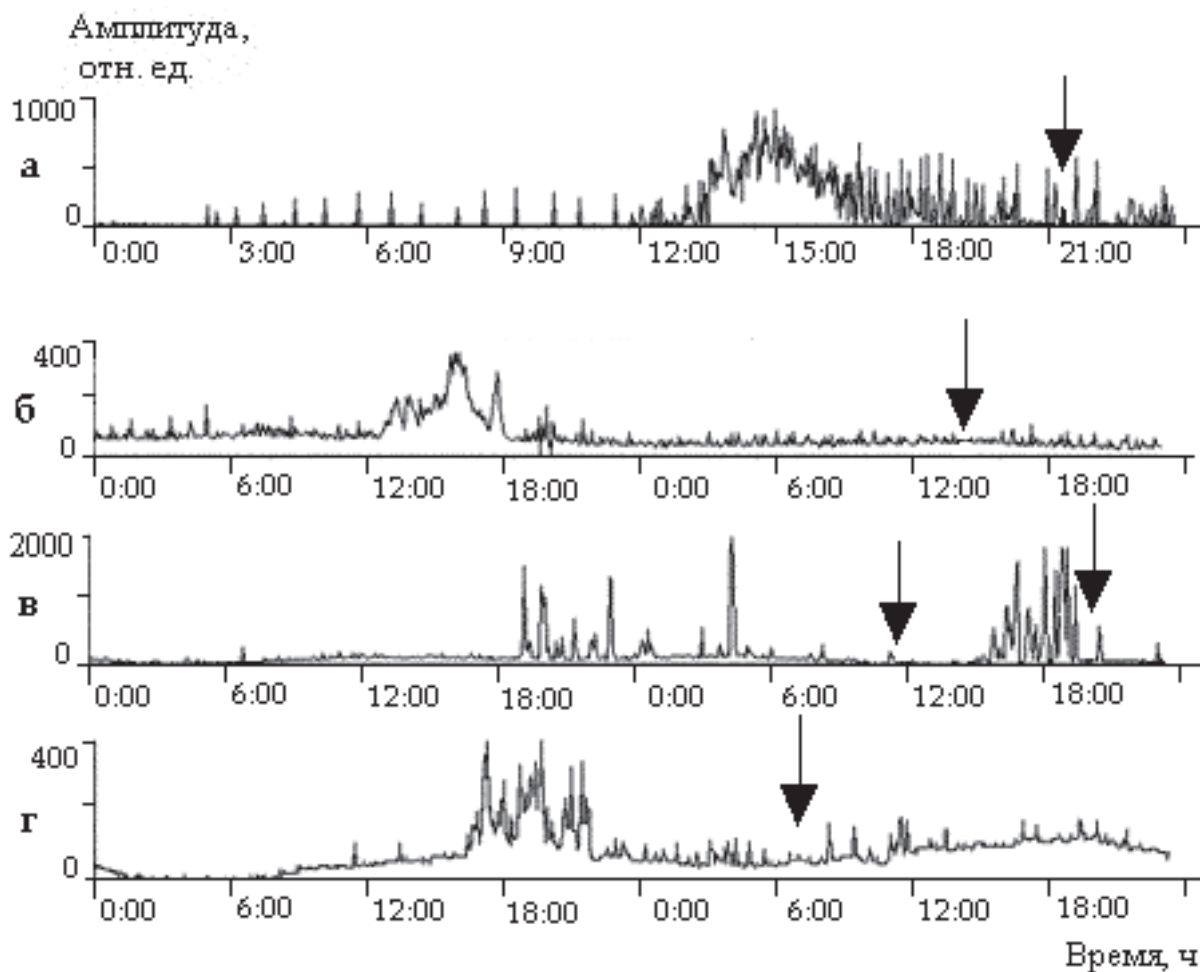


Рис. 4. Аномалии геоакустической эмиссии. На графиках показан частотный диапазон от 3 до 6 кГц, стрелками указано время регистрации сейсмического события.

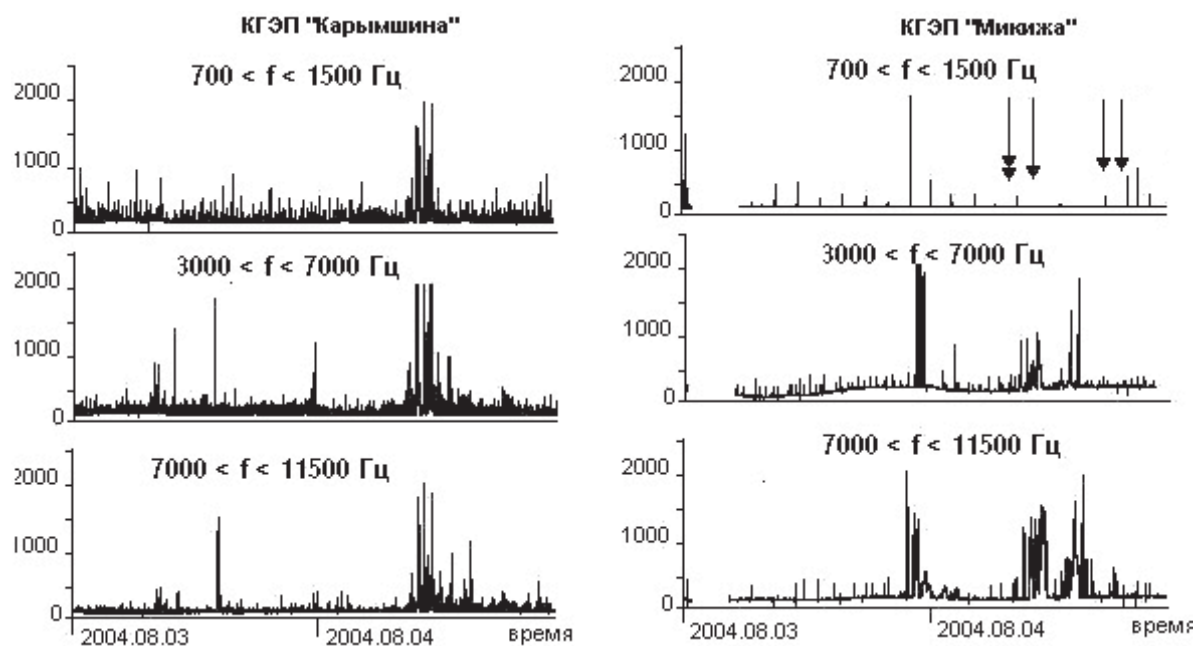


Рис. 5. Аномальные сигналы, одновременно зарегистрированные на двух пунктах наблюдений. Стрелками показаны землетрясения 4 августа 2004г.: 09:48:29, класс 12.8; 09:51:04, класс 12.1; 11:03:3,1 класс 13.0; 20:05:15, класс 12.2; 21:15:11, класс 13.

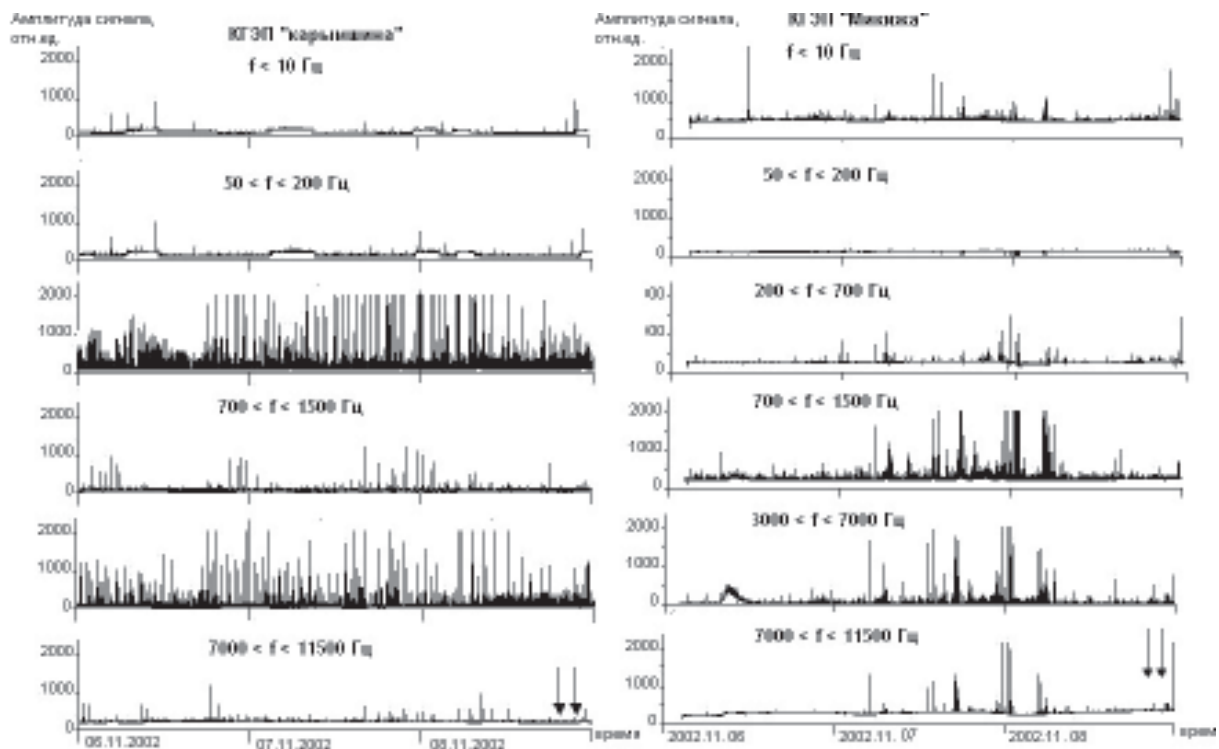


Рис. 6. Импульсный аномальный геоакустический сигнал. Стрелками показано время регистрации землетрясений 8 ноября 2002г.: 20:44:49, класс 11.6 и 22:21:04, класс 12.1.

геоакустического сигнала на обоих пунктах. Видно, что сигналы идентичны по форме и совпадают по времени.

Импульсный аномальный сигнал с двух точек наблюдения, различающийся по форме, но совпадающий по времени и прекращающийся за несколько часов до землетрясения, иллюстрирует рис. 6.

В рассмотренных случаях сигнал, получаемый одновременно на двух пунктах, имеет импульсный характер, с различной частотой следования, имеет совпадения по времени, некоторые различия по форме и амплитуде. На КГЭП «Карымшина» сигнал имеет более низкочастотный спектр и наиболее ярко выраженную импульсную составляющую.

На рис. 7 и рис. 8 показано расположение эпицентров землетрясений, произошедших во время проведения регистрации сигналов. Кружками обозначены эпицентры событий, имеющие сплошной предшествующий ему аномальный сигнал, крестиками — импульсный, заштрихованными квадратиками — землетрясения, перед которыми не наблюдались изменения в поведении геоакустической эмиссии.

Видно, что присутствие и форма аномального сигнала зависят от энергетического класса и расстояния до эпицентра: с увеличением расстояния от пунктов наблюдения до эпицентра землетря-

сения уменьшается частота появления отдельных импульсов. Величина, а также само присутствие аномального сигнала перед сильным землетрясением, зависит от места положения их эпицентров. Явно обозначилась общая для обоих пунктов зона неуверенного отклика геоакустической эмиссии на процесс подготовки землетрясений в восточном направлении.

Отмечено, что район измерительного пункта на озере Микижа наиболее чувствителен к изменению напряжений в процессе подготовки землетрясений, чем район измерительного пункта «Карымшина».

ВЫВОДЫ

1. Выявлено одновременное возникновение аномального геоакустического сигнала за несколько часов до сейсмического события в двух пунктах наблюдения.

2. Показано, что форма и частотный диапазон аномального геоакустического сигнала зависят от места расположения регистрирующей системы.

3. Построено пространственное распределение событий, показано что присутствие и форма аномального геоакустического сигнала зависят от энергетического класса, расстояния и места расположения эпицентра землетрясения.

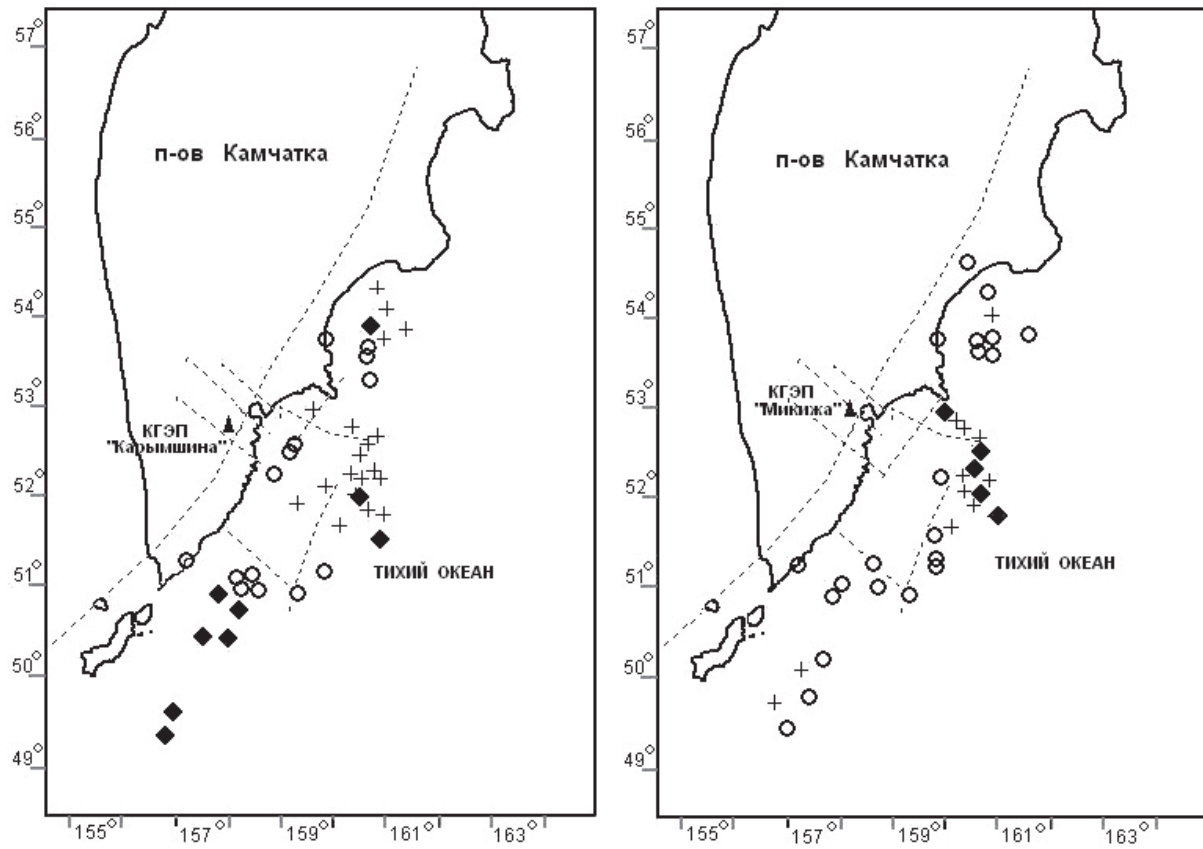


Рис. 7. Карта зарегистрированных сейсмических событий от 11 до 12 энергетического класса.

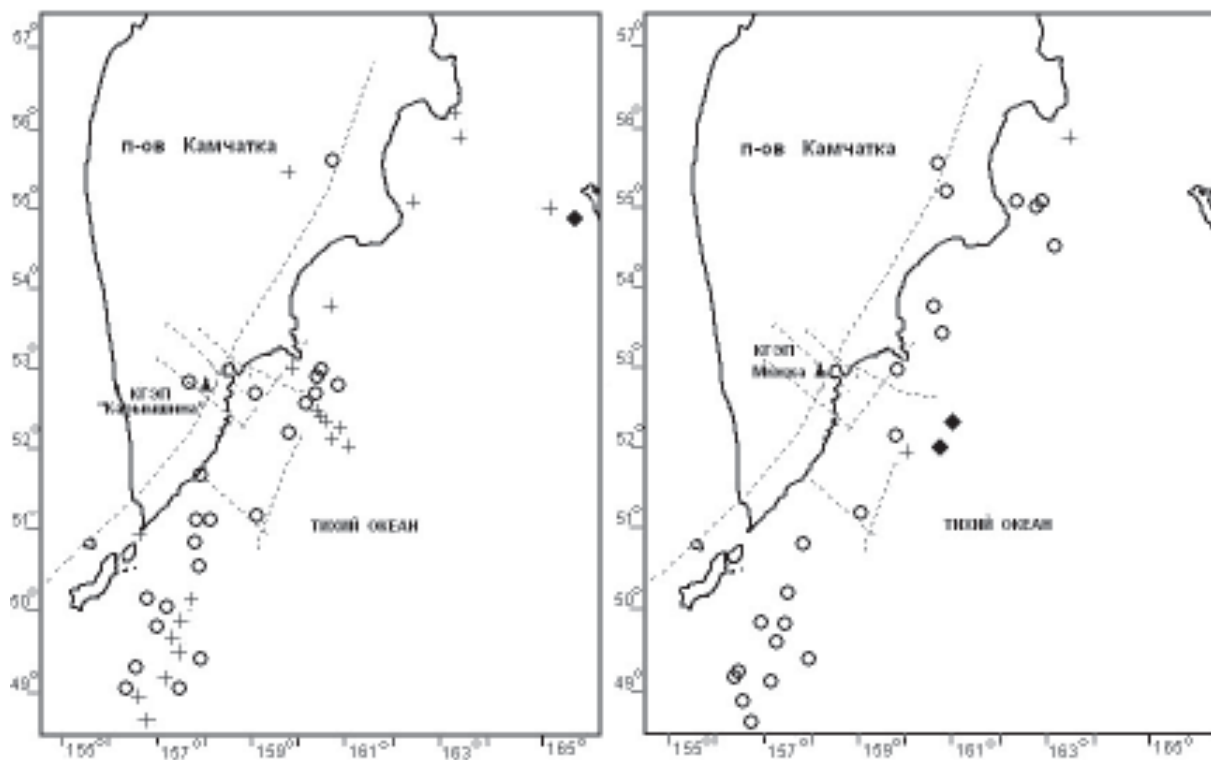


Рис. 8. Карта зарегистрированных сейсмических событий выше 12 энергетического класса.

Список литературы

Алексеев А.С., Белоносов А.С., Петренко В.Е. Определение интегрального предвестника землетрясений с использованием многодисциплинарной модели и активного вибросейсмического мониторинга // Проблемы динамики литосферы и сейсмичности. Вычислительная сейсмология. 2001. Выпуск 32. С. 81-97.

Беляков А.С., Лавров В.С., Николаев А.В. и др. Подземный фоновый звук и его энергетическая модель как компоненты системы прогноза землетрясений // Физика земли. 2002. № 12. С. 57-64.

Горбатилов А.В., Хаякава М., Уеда С. и др. Отклик акустической эмиссии на сейсмический процесс // Вулканология и сейсмология. 2001. № 4. С. 66 – 78.

Купцов А.В., Богданова Т.А., Ларионов И.А. и др. Изменения характера акустической эмиссии Земли, соответствующей ранней стадии развития сейсмических событий // III Всероссийский симпозиум “Сейсмоакустика переходных зон”. Владивосток, 1-5 сентября, 2003 г. С. 108.

Купцов А.В., Ларионов И.А., Маранулец Ю.В., Шевицов 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.

Ларионов И. А., Шевицов Б. М., Купцов А. В. Экспериментальные исследования аномалий геоакустической эмиссии, соответствующей ранней стадии развития сейсмических событий // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. Петропавловск-Камчатский. 2004. № 3. С. 46-52.

Ланно С.С., Левин Б.В., Сассорова Е.В. и др. Гидроакустическая локация области зарождения океанического землетрясения // ДАН. 2003. Т. 388, № 6. С. 805-808.

Райс Дж. Механика очага землетрясений. М.: Мир, 1982. 217 с.

Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука, 2003. 270 с.

Sassorova E.V., Levin B.W., Morozov V.E., Didenkulov I.N. Hydro-acoustic location of oceanic earthquake preparation region // IUGG 2003, Sapporo. Japan. 2003. V. A, P. 192-193.

GEOACOUSTIC EMISSION RESPONSE ON THE PROCESS OF EARTHQUAKE PREPARATION AT DIFFERENT OBSERVATION POINTS

I. A. Larionov, A. O. Zherbina, M. A. Mizhenko

Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation (IKIR) FEB RAS, 684034, Paratunka, Kamchatskaya oblast, Elizovskiy region, Mirnaya st., 7, Tel. /Fax: (415-31) 33-7-18, ikir@ikir.kamchatka.ru
Correspondence address: 684034, Paratunka, Kamchatskaya oblast, Elizovskiy region, Mirnaya st., 7
Tel. /Fax: (415-31) 33-7-18, omen@ikir.kamchatka.ru

On the basis of two directional hydrophone systems installed at the distance of 20 km from each other, one is in an artificial reservoir and the other one is in a lake, long-lasting observations of the geoacoustic emission in the frequency range 0.1-10000 Hz aiming at discovering and researching the changes in the characteristics of geoacoustic noise, which corresponds to the final stage of seismic events development. The observations showed, that in some cases in high-frequency part of the spectrum during a day before an event, considerable and long increase of signal was observed. This increase exceeded repeatedly the background level. A comparative analysis of high-frequency disturbances, registered simultaneously at different sites, was carried out in order to distinguish common characteristics. It was showed that the value and also the appearance of anomalous signal of geoacoustic emission, preceding strong seismic events, depend not only on the energetic class, depth of an earthquake focus and the distance to the epicenter of a preparing earthquake but also on the location of receiving systems themselves and on the way of installation. One can suppose that simultaneously appearing high-frequency anomalies of geoacoustic emission at spaced sites are determined by deformational processes activating before a seismic event.