

**ОТКЛИК ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ НА АКТИВИЗАЦИЮ  
ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

**Ю.В. Марпулец, Б.М. Шевцов, И.А. Ларионов, М.А. Мищенко, А.О. Щербина,  
А.А. Солодчук**

*ФГБУН Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, ул. Мирная 7,  
с. Паратунка, Елизовский р-н, Камчатский край, 684034; e-mail: marpl@ikir.ru*

Поступила в редакцию 26 марта 2012 г.

Излагаются результаты исследований геоакустической эмиссии, которые, начиная с 1999 г., проводятся в сейсмоактивном регионе на полуострове Камчатка. Особенностью экспериментов является использование для регистрации эмиссии широкополосных пьезокерамических гидрофонов, установленных в воде у дна естественных и искусственных водоемов. Применение приемников такого типа позволяет по сравнению со стандартными геофонами расширить частотный диапазон регистрации до 0.1 Гц–11 кГц. Одновременно для изучения пространственной структуры геоакустической эмиссии и характера движения частиц среды в волне применяются трехкомпонентные векторные приемники с таким же диапазоном частот. В ходе исследований было установлено, что за 1–3 суток перед сильными землетрясениями на расстояниях первых сотен километров от эпицентра регистрируются аномалии геоакустической эмиссии в килогерцовом диапазоне частот. В качестве аномалий принимается резкое повышение амплитуды и частоты следования геоакустических импульсов, по форме похожих на микроземлетрясения, которое длится от десятков минут до нескольких часов. Сигналы на таких частотах не могут распространяться из эпицентров готовящихся землетрясений и являются откликом среды в месте регистрации на изменение ее напряженно-деформируемого состояния. Создающееся при этом поле напряжений определяет преимущественную ориентацию источников эмиссии, которую можно оценить векторно-фазовыми методами. Результаты совместных исследований эмиссии и деформаций земной поверхности подтвердили, что аномалии перед землетрясениями наблюдаются при значительном увеличении скорости деформирования, как при сжатии, так и при растяжении приповерхностных пород.

**Ключевые слова:** геоакустическая эмиссия, деформации, гидрофон, комбинированный приемник, лазерный деформограф-интерферометр, Камчатка.

**ВВЕДЕНИЕ**

Акустическая эмиссия – излучение упругих волн, возникающее в процессе перестройки внутренней структуры сред при пластических деформациях. Акустические методы диагностирования широко распространены в геофизике, в первую очередь при изучении сейсмических событий, а также при акустико-эмиссионном контроле прочности материалов. Следует отметить, что в обоих случаях рассматриваются одно и то же явление акустической эмиссии, происходящее на различных пространственных масштабах и соответствующих им длинам волн. В первом случае обычно рассматриваются диапазоны: сейсмический (доли–единицы герц), высокочастотный

сейсмический (десятки герц) и акустический (обычно – от сотен герц до первых килогерц). Во втором – ультразвуковой диапазон от десятков килогерц до единиц мегагерц. Диапазон от 1–2 до 20 килогерц, соответствующий звуковым колебаниям, рассматривается значительно реже. Это обусловлено плохим распространением упругих колебаний на таких частотах в неоднородных природных средах и сложностью их регистрации стандартными приемниками (геофонами), используемыми в геофизике. И только в последние годы, с использованием технологий, применяемых в гидроакустике, были получены новые результаты, позволяющие говорить о целесообразности использования акустической эмиссии килогерце-

вого диапазона, в первую очередь, при изучении физики предвестников землетрясений. Для регистрации сигналов эмиссии применяются пьезокерамические гидрофоны, установленные в море [11] или естественных и искусственных водоемах [8].

На Камчатке в ИКИР ДВО РАН исследования геоакустической эмиссии проводятся с 1999 г. В ходе исследований было установлено, что за 1–3 суток перед сильными землетрясениями на расстояниях первых сотен километров от эпицентров регистрируются аномалии в виде резкого увеличения амплитуды геоакустического излучения в килогерцевом диапазоне частот [8]. Сигналы на таких частотах не могут распространяться из эпицентров готовящихся землетрясений по причине сильного затухания и являются откликом среды в месте регистрации на изменение ее напряженно-деформируемого состояния.

В настоящей статье представлены результаты дальнейших исследований геоакустической эмиссии на Камчатке. Показана связь аномалий эмиссии с деформациями пород. Приведены результаты исследований направленности геоакустического излучения в сейсмически спокойные периоды и при аномалиях перед землетрясениями.

#### ОСОБЕННОСТИ МЕТОДА НАБЛЮДЕНИЙ

Особенностью наблюдений является использование для регистрации сигналов широкополосных пьезокерамических гидрофонов, установленных в естественных и искусственных водоемах. Применение приемников такого типа позволяет, по сравнению со стандартными геофонами, расширить частотный диапазон регистрации до 0.1 Гц–11 кГц. На рис. 1 приведена структурная схема системы регистрации. Сбор информации производится в цифровом виде в стандартном формате звуковых данных типа

“wave” на персональный компьютер ПК1. Одновременно с регистрацией широкополосного сигнала, на ПК2 осуществляется цифровая фильтрация в семи частотных поддиапазонах: 0.1–10, 30–60, 70–200, 200–600, 600–2000, 2000–6500, 6500–11000 Гц с последующим детектированием, интегрированием и синхронной записью отчетов с частотой 0.25 Гц по каждому из 4 каналов, различающихся пространственной ориентацией гидрофонов. Такие измерительные системы установлены на трех станциях ИКИР ДВО РАН (рис. 2): базовой обсерватории “Паратунка” и удаленных от нее на 20 км и 4 км, соответственно, станциях “Карымшина” и “Микижа”. Одновременно с записью акустического сигнала регистрируются метеорологические величины: атмосферное давление, температура воздуха, его относительная влажность, скорость ветра и интенсивность осадков. Все станции охвачены системой связи по радиомодемам и синхронизации времени по GPS. Действует система автоматического сбора данных за каждые сутки и визуализации образов компьютерных экранов станций каждые 10 минут на сервере Института.

Для подтверждения деформационной природы аномалий геоакустической эмиссии на станции “Карымшина” в 2005 г. был установлен лазерный деформограф-интерферометр неравноплечного типа с длинной измерительной базы 18 м и чувствительностью  $10^{-11}$  м, разработанный в ТОИ ДВО РАН. Частота измерений прибора составляет 860 Гц, а их точность, с учетом влияния метеовеличин, не хуже  $10^{-7}$  [6].

Для исследования направленности геоакустической эмиссии на различных стадиях сейсмической активности с 2004 г. на станции “Микижа” в озере на глубине около 5 метров была установлена приемная система на базе 4-х компонентного ком-

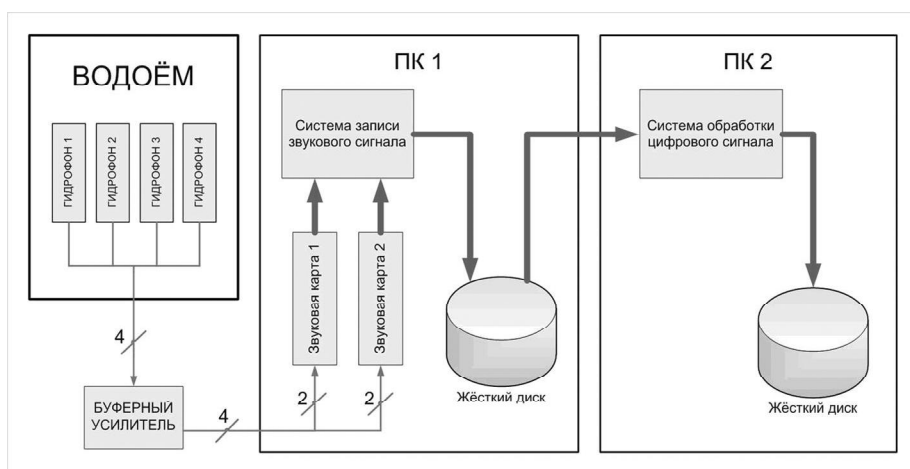
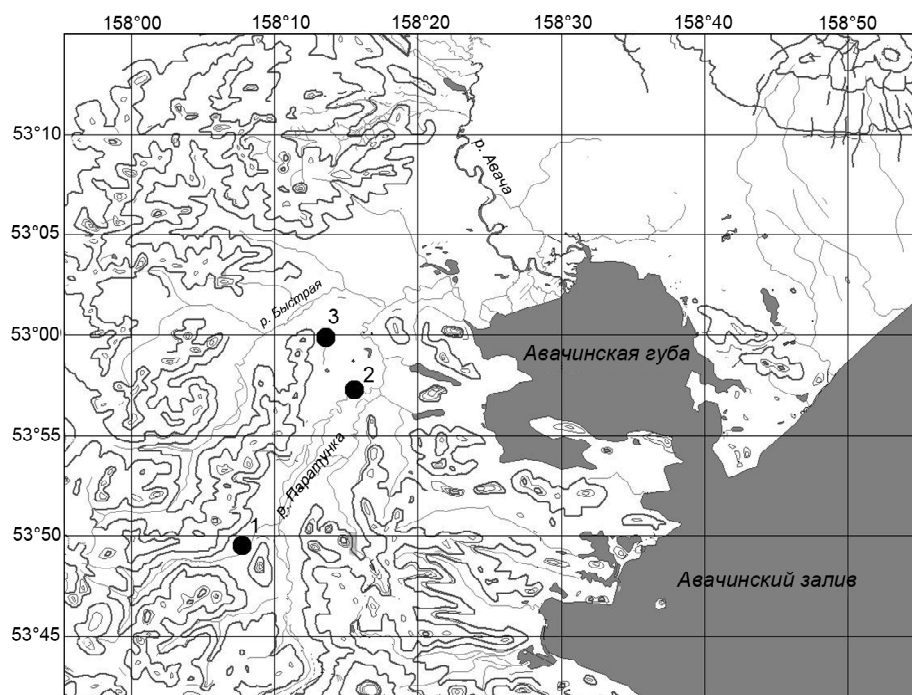


Рис. 1. Структурная схема системы регистрации геоакустической эмиссии.

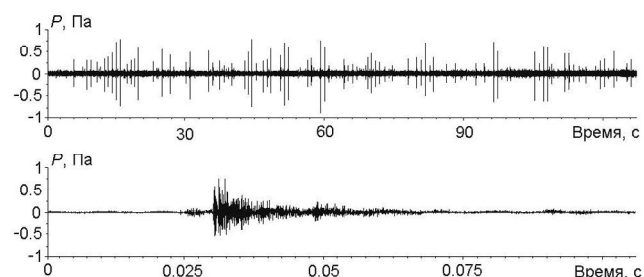


**Рис. 2.** Карта района исследований. Местоположение станций наблюдения указано точками: 1 – “Карымшина”, 2 – “Паратунка”, 3 – “Микижа”.

бинированного приемника (КП), разработанного в ЗАО “Геоакустика” при ФГУП ВНИИФТРИ. Приемник позволяет одновременно регистрировать акустическое давление и три взаимно ортогональные проекции его градиента в диапазоне частот 5–11000 Гц [3, 5] и, соответственно, реализовывать приемы векторно-фазовых методов для определения направления прихода энергии акустической волны и анализа характера движения частиц среды в ней [4]. Создан аппаратно-программный комплекс, позволяющий автоматически выделять в потоке данных геоакустические сигналы и определять направление на их источник [10].

#### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Все разнообразие сигналов геоакустической эмиссии складывается из различных комбинаций релаксационных импульсов с ударным возбуждением и частотой заполнения от единиц до десяти и более килогерц [8]. Частота их следования составляет 0.1–0.5 импульсов в секунду в сейсмически спокойные периоды и может достигать десятков и даже сотен в секунду в моменты возмущений, предшествующих землетрясениям. В качестве примера на рис. 3 сверху представлен 3-х минутный фрагмент записи такого геоакустического сигнала, а внизу – одиночный импульс из этого фрагмента.



**Рис. 3.** Фрагмент широкополосной записи геоакустической эмиссии (вверху) и одиночного импульса из этого фрагмента (внизу),  $P$  – акустическое давление.

Для наблюдаемого времени затухания импульсов 0.01–0.015 с и скорости продольных колебаний в осадочных породах на Камчатке  $V_p \approx 1.8\text{--}2.5$  км/с [1] расстояние ослабления сигнала, как произведение этих величин, составит 18–37 м и в первом приближении будет сопоставимо с расстоянием до источника [2]. Коэффициент ослабления амплитуды в  $e$  раз равен при этом 230–480 дБ/км, что характерно для осадочных пород [7]. Считая источники сдвиговыми, для качественной оценки их размеров можно воспользоваться формулой Бруна [13]  $l = 2.34 V_p / 2\pi f$ . С учетом того, что основной диапазон регистрации геоакустических импульсов  $f = 0.6\text{--}11$  кГц, имеем  $l \approx$

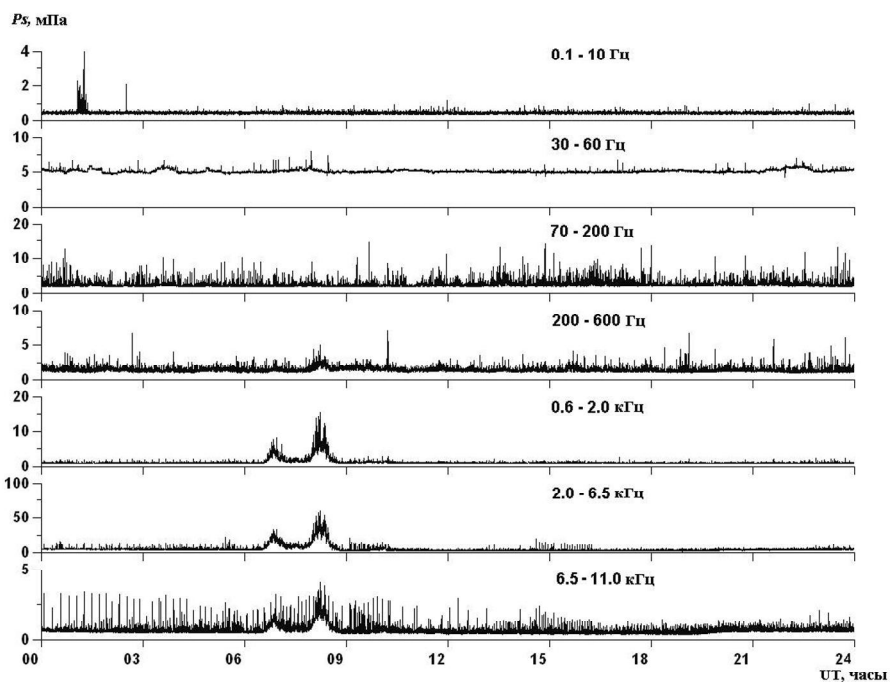
0.06–1.7 м. Если воспользоваться для оценки размеров формулой  $l \approx V_1 T^2$ , предложенной в работе [9], где  $T$  – период сигнала,  $V_1 = 2500$  м/с<sup>2</sup>, то размер получится значительно меньше,  $l \approx 0.00005$ – $0.007$  м. В любом случае можно считать, что наблюдаемые в экспериментах акустические сигналы генерируются сдвиговыми источниками с возможными размерами от миллиметров до единиц метров, расположенными на расстоянии до первых десятков метров от приемника.

Аномалии геоакустической эмиссии перед землетрясениями обычно регистрируются в виде резкого увеличения амплитуды геоакустического излучения в килогерцевом диапазоне частот продолжительностью до нескольких часов. Это хорошо видно при анализе сигналов, расфильтрованных на частотные поддиапазоны. Для примера на рис. 4 приведен суточный фрагмент записи геоакустической эмиссии в семи частотных поддиапазонах, произведенной 23 августа 2006 г. перед сейсмическим событием, произошедшим 24 августа 2006 г. в 21:50 UT на эпицентральной расстоянии 220 км. Характеристики землетрясения: энергетический класс 13.8, координаты гипоцентра 51.01°N, 158.01°E, глубина 40 км (здесь и далее оперативные данные по землетрясениям Камчатского филиала ГС РАН). Из рисунка видно, что наиболее ярко геоакустическая аномалия наблюдается с 6 до 9 часов в трех килогерцевых поддиапазонах.

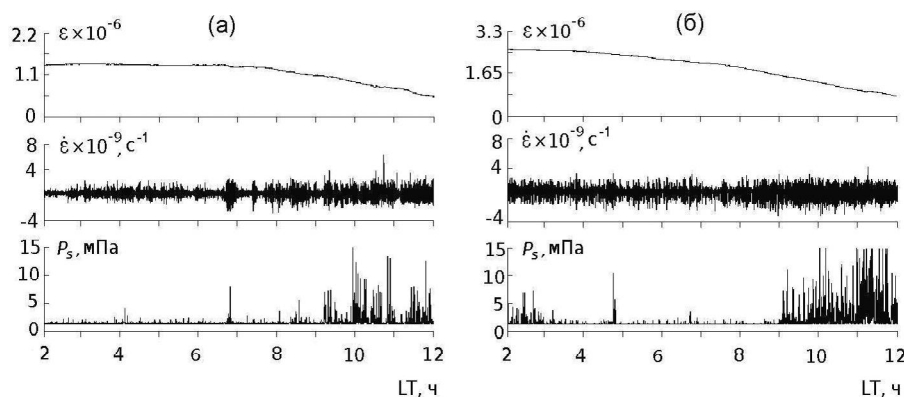
Все аномалии геоакустической эмиссии, зарегистрированные на станции “Микижа” за период 2002–2007 гг. в условиях хорошей погоды, были систематизированы в каталоге. Их сравнительный анализ с оперативными данными по землетрясениям Камчатского филиала ГС РАН показал следующее:

- 30 из 46 (65.2 %) землетрясений с энергетическим классом  $11.0 < K \leq 12.0$  на эпицентральной расстоянии до 300 км предварялись аномалиями геоакустической эмиссии в интервале до 2.5 суток;
- 25 из 30 (83.3 %) землетрясений с энергетическим классом  $K > 12.0$  на эпицентральной расстоянии до 400 км предварялись аномалиями геоакустической эмиссии в интервале до 2.5 суток;
- 141 из 308 (45.8 %) аномалий геоакустической эмиссии в условиях хорошей погоды предшествовало землетрясениям с энергетическими классами не ниже 9.0. Следует отметить, что остальные аномалии также являлись откликами на изменение напряженно-деформированного состояния приповерхностных пород, но после них не наблюдались достаточно сильные сейсмические события.

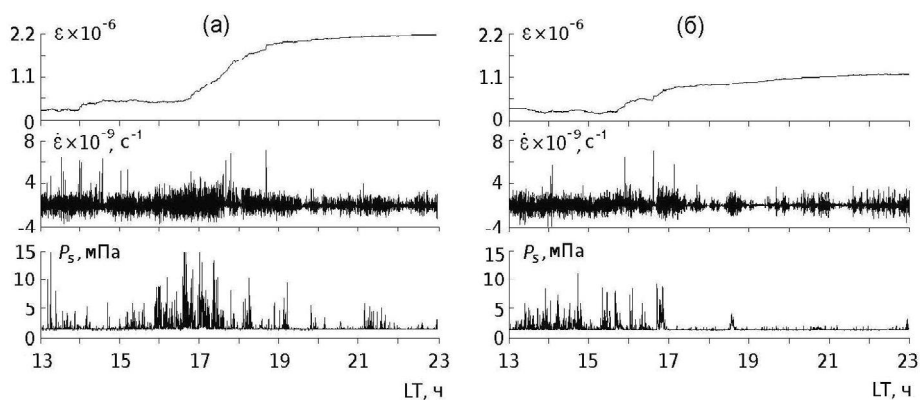
Результаты совместных исследований геоакустической эмиссии и деформаций подтвердили, что аномалии эмиссии в килогерцевом диапазоне частот наблюдаются при значительном увеличении скорости деформирования, как при сжатии (рис. 5), так и при растяжении (рис. 6) приповерхностных пород. При сопоставлении графиков



**Рис. 4.** Фрагмент записи геоакустической эмиссии 23 августа 2006 г.,  $P_s$  – суммарное за 4 секунды акустическое давление в соответствующих частотных поддиапазонах.



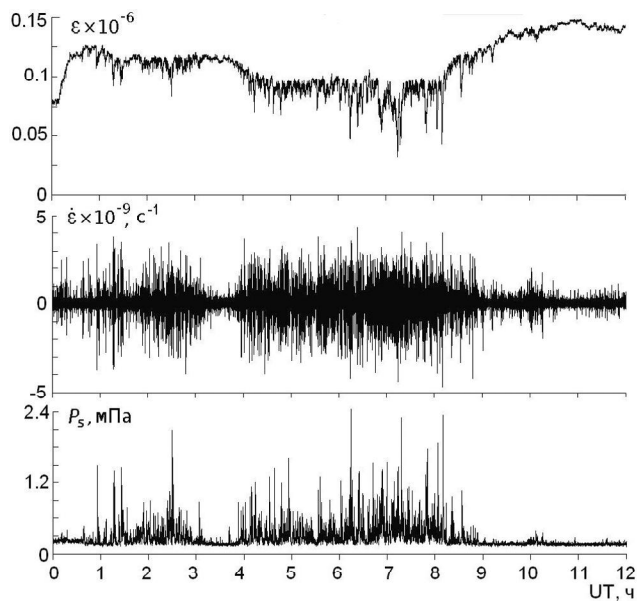
**Рис. 5.** Примеры аномалий геоакустической эмиссии при сжатии приповерхностных пород 15 (а) и 18 (б) октября 2009 г.;  $\varepsilon$  – относительная деформация пород,  $\dot{\varepsilon}$  – скорость деформирования,  $P_s$  – суммарное за 4 секунды акустическое давление в диапазоне частот 0.6–2.0 кГц.



**Рис. 6.** Примеры аномалий геоакустической эмиссии при растяжении приповерхностных пород 14 (а) и 16 (б) октября 2009 г.;  $\varepsilon$  – относительная деформация пород,  $\dot{\varepsilon}$  – скорость деформирования,  $P_s$  – суммарное за 4 секунды акустическое давление в диапазоне частот 0.6–2.0 кГц.

эмиссии и деформаций видно, что геоакустические возмущения возникают во время многочисленных подвижек приповерхностных пород различной амплитуды, так называемых проскальзываний. Наиболее ярко эта зависимость наблюдается около 7 часов 15 октября (рис. 5а) и в 18–19 часов 16 октября (рис. 6б), где отдельным всплескам увеличения скорости деформирования соответствует резкое увеличение амплитуды геоакустической эмиссии. Проскальзывания и соответствующие им акустические сигналы имеют фрактальные свойства. Относительные деформации отдельных подвижек невелики, даже при сравнительно большой амплитуде они составляют не больше  $10^{-8}$  (рис. 5, 6). Данные, приведенные на рис. 5, 6, получены в сейсмически спокойные периоды, когда на расстояниях до 250 км не регистрировались землетрясения с энергетическим классом  $> 10$ .

Наиболее ярко влияние деформаций на поведение геоакустической эмиссии проявляется на заключительной стадии подготовки землетрясений. На рис. 7. приведен пример одновременной аномалии геоакустической эмиссии и деформаций пород, зарегистрированной 1 мая 2007 г. за 25 часов до землетрясения с энергетическим классом 12.1, произошедшего 2 мая 2007 г. в 12:00 UT на эпицентральной расстоянии 154 км. Координаты гипоцентра –  $52.44^\circ\text{N}$ ,  $160.33^\circ\text{E}$ , глубина 12 км. Из рисунка видно, что в период с 1 до 9 часов наблюдаются достаточно резкие сжатия пород с последующими сбросами длительностью 1–5 минут, которые сопровождаются увеличением скорости деформирования и одновременным повышением уровня эмиссии в килогерцевом диапазоне частот. Амплитуда сжатий достигала 0.25 мкм, а скорость деформирования увеличилась до  $10^{-8} \text{ c}^{-1}$ .



**Рис. 7.** Пример одновременной аномалии геоакустической эмиссии и деформаций пород перед землетрясением, произошедшим 2 мая 2007 г. в 12:00 UT.

$\varepsilon$  – относительная деформация пород,  $\dot{\varepsilon}$  – скорость деформирования,  $P_s$  – суммарное за 4 секунды акустическое давление в диапазоне частот 2.0–6.5 кГц.

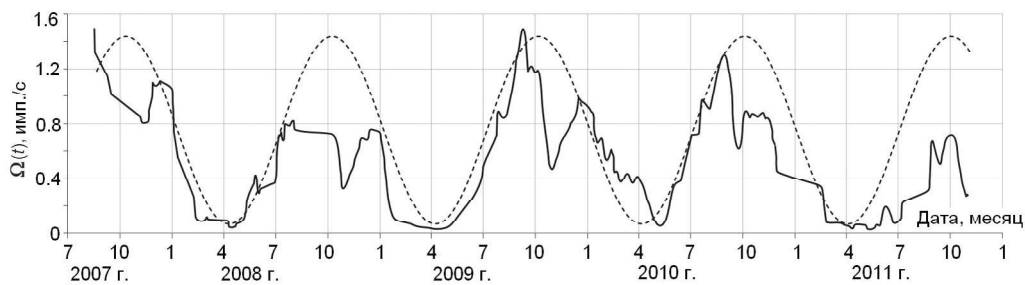
С помощью селекции колебаний по поляризации и анализа направленности излучения можно оценить положение главной оси сжатия и выделить направление на источник деформационных возмущений, а по интенсивности эмиссии определить уровень напряжения. Это возможно, если источник локализован и диаграмма направленности излучения имеет ярко выраженную анизотропию. Как показано ниже, эти условия выполняются в наших наблюдениях. Селекция продольных колебаний осуществляется естественным образом при регистрации геоакустических сигналов в естественных или искусственных водоемах, поскольку поперечные колебания в воде

не распространяются. Для определения направления прихода акустического сигнала используется комбинированный приемник.

При исследованиях направленности акустического излучения используются понятия активности геоакустической эмиссии  $\Omega(t)$  и ее азимутального распределения  $D(\alpha, t)$ . Первая из этих величин представляет собой зависящую от времени частоту следования импульсов в определенном интервале амплитуд  $\Delta A$ , а вторая – азимутальное распределение регистрируемого потока импульсов по направлениям  $\Delta\alpha$ .

Исследования направленности геоакустической эмиссии проводились как в спокойные (фоновые) периоды, когда отсутствовали деформационные и метеорологические возмущения, так и при росте интенсивности эмиссии перед сейсмическими событиями. Непрерывные наблюдения в период с августа 2007 г. по декабрь 2011 г. позволили построить график сезонных изменений активности  $\Omega(t)$  (рис. 8) с усреднением в суточном временном интервале. Как видно, ее поведение хорошо аппроксимируется синусоидой, максимум которой приходится на осень, а минимум – на весну. Можно отметить сезонные и годовые вариации активности геоакустической эмиссии, а также заметную повторяемость ее локальных максимумов, что, видимо, определяется метеорологическими факторами. На фоне плавных сезонных изменений возникают кратковременные (в течение суток) интенсивные возмущения геоакустической эмиссии, связанные с активизацией деформационных процессов.

На рис. 9 приведены азимутальные распределения активности геоакустической эмиссии  $D(\alpha, t)$  за периоды: ноябрь 2007 г.–февраль 2008 г. и май–июнь 2008 г. В этих интервалах времени для усреднения выбирались дни, когда отсутствовали деформационные и атмосферные возмущения. Средняя активность эмиссии  $\Omega(t)$  в первый период составила 0,63 имп./с, а во второй – 0,14 имп./с.

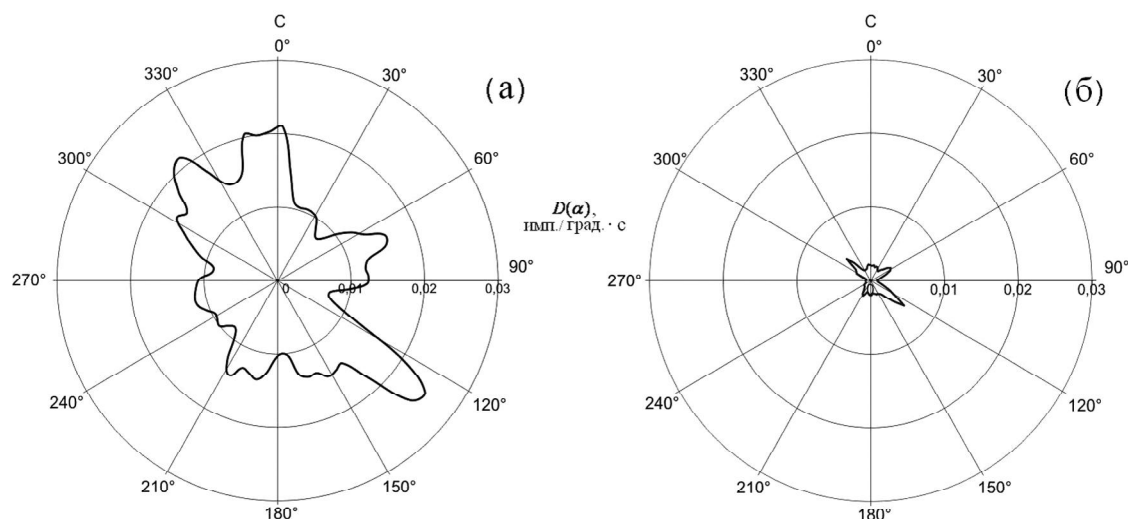


**Рис. 8.** Сезонные изменения активности геоакустической эмиссии  $\Omega(t)$  (сплошная линия) и график синусоиды для сравнения (пунктирная линия).

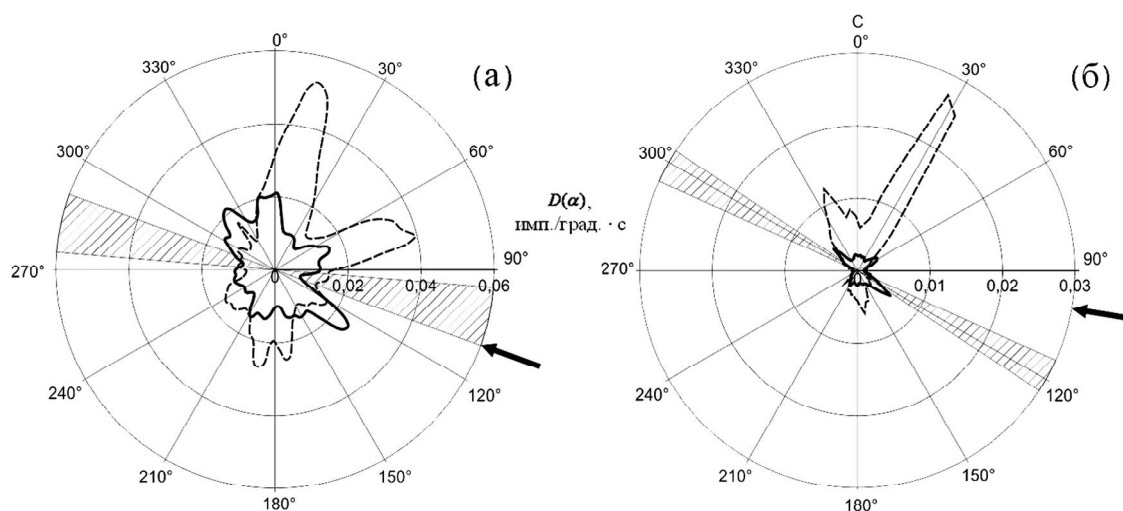
Как видно из представленных на рис. 9 диаграмм, в спокойные дни направленность геоакустических импульсов достаточно анизотропная, в обоих случаях регистрируется повышенная активность с юго-востока и северо-запада, и структура дополнительных лепестков во многом повторяется. Отличия в активности эмиссии, согласно рис. 8, имеют сезонный характер. По множеству нерегулярно расположенных лепестков диаграмм направленности эмиссии на рис. 9 можно судить о сложном характере на-

пряжений, а по асимметрии расположения максимумов излучения можно сделать вывод о неоднородности свойств среды вокруг точки наблюдений. Из сравнения двух распределений видно, что структура диаграммы направленности эмиссии хорошо сохраняется, что указывает на сезонное постоянство характера напряжений и объемного распределения источников акустического сигнала.

На рис. 10 представлены два примера анизотропии направленности геоакустической эмиссии,



**Рис. 9.** Диаграммы азимутального распределения активности геоакустической эмиссии  $D(\alpha, t)$  в спокойные дни временных периодов: ноябрь 2007 г.–февраль 2008 г. (а), май–июнь 2008 г. (б).



**Рис. 10.** Примеры диаграмм азимутального распределения активности геоакустической эмиссии  $D(\alpha, t)$  (штриховая линия), усредненной в суточном временном интервале перед землетрясениями:

а) 15 декабря 2007 г. в 9.00 UT, энергетический класс – 11.6, координаты гипоцентра: 52.34°N, 160.61°E, глубина – 10 км, эпицентрального расстояние – 175 км, азимут – 110 градусов;

б) 15 мая 2008 г. в 5.49 UT, энергетический класс – 11.1, координаты гипоцентра: 52.7°N, 160.06°E, глубина – 41 км, эпицентрального расстояние – 127 км, азимут – 100 градусов (данные КФ ГС РАН).

Сплошной линией показан фоновый уровень активности эмиссии, заштрихованные области – оценка ориентации оси наибольшего сжатия, стрелочками показаны азимуты землетрясений.



усредненной в суточном временном интервале перед землетрясениями 15 декабря 2007 г. и 15 мая 2008 г. Видно, что в обоих случаях анизотропия направленности излучения усилилась, максимальные уровни активности геоакустической эмиссии приходятся на направления 15 и 30 градусов, которые наблюдались и в спокойные периоды, но не выделялись сильно над средним уровнем. В периоды деформационных возмущений активность этих направлений существенно возрастает.

Наблюдаемая анизотропия геоакустического излучения свидетельствует об упорядочивании в ориентации источников при подготовке землетрясений. Следует отметить, что ориентация сдвиговых источников обусловлена направлением максимальных касательных напряжений, ориентированных преимущественно под углом  $45^\circ$  к оси наибольшего сжатия [2]. При этом максимумы продольных акустических колебаний приходятся на направления, перпендикулярные этой оси при сжатии и совпадающие с ней при разряжении. Как правило, сжатие по интенсивности больше разряжения, что связано с особенностями процессов разрушения и диссипации энергии. Диаграмма направленности поперечных колебаний повернута на  $45^\circ$  относительно диаграммы направленности продольных волн. Как было указано выше, поперечные колебания в воде не распространяются, поэтому мы ограничиваемся только рассмотрением продольных.

При наличии ярко выраженной анизотропии активности геоакустической эмиссии можно производить оценку ориентации оси наибольшего сжатия пород, как направления, перпендикулярного положению максимума акустического излучения [12]. Анализ оси наибольшего сжатия для примеров, приведенных на рис. 10, показывает, что в обоих случаях ось не совпадала с направлениями на эпицентры готовящихся землетрясений. Однако наличие вторых максимумов на диаграммах говорит о том, что проявлялись и другие направления в деформациях.

Произведена оценка ориентации оси наибольшего сжатия для 15 случаев аномалий эмиссии, зарегистрированных в 1.5 суточном интервале перед землетрясениями с энергетическим классом больше 10, произошедшими за период 2004–2009 гг. по азимутам  $90\text{--}150$  градусов на расстояниях до 250 км. Для всех случаев диапазон ориентации оси колебался в достаточно небольшом интервале углов  $105\text{--}140$  градусов со средним значением в 123 градуса, что соответствует генеральному направлению действия тектонических напряжений у побережья Южной Камчатки – 125 градусов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из анализа представленных результатов можно сделать вывод, что аномалии геоакустической эмиссии в виде резкого и продолжительного повышения уровня в частотном диапазоне сотен герц–единицы килогерц возникают при активизации деформационных процессов в области наблюдений. В эти периоды повышается скорость деформирования и появляются проскальзывания в породах, что приводит к генерации эмиссии повышенной интенсивности. Наиболее ярко такие эффекты наблюдаются на заключительной стадии подготовки землетрясений.

В периоды аномалий эмиссии наблюдается существенная пространственная анизотропия геоакустического излучения, в разы превышающая фоновые значения, что позволяет производить оценку ориентации оси наибольшего сжатия пород в районе пункта наблюдений. Усредненная по 15 землетрясениям, произошедшим в период 2004–2009 гг., оценка ориентации оси сжатия пород в районе пункта наблюдений совпала с основным направлением действия тектонических напряжений Южной Камчатки.

Учитывая это, геоакустическую эмиссию в килогерцевом диапазоне частот можно считать достаточно эффективным индикатором изменения напряженно-деформируемого состояния среды в пункте наблюдения. Почти в половине случаев аномалии геоакустической эмиссии в 1–3-суточном интервале предшествуют сильным сейсмическим событиям, что позволяет их использовать в качестве оперативных предвестников землетрясений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аносов Г. И., Биккенина С. К., Попов А. А. и др. Глубинное сейсмическое зондирование Камчатки. М.: Наука, 1978. 130 с.
2. Виноградов С. Д., Кузнецова К. И., Москвина А. Г. и др. Физическая природа разрыва и излучение сейсмических волн // Физические процессы в очагах землетрясений. М.: Наука, 1980. С. 129–140.
3. Гордиенко В.А., Гордиенко Т.В., Купцов А.В. и др. Геоакустическая локация областей подготовки землетрясений // Докл. РАН. 2006. Т. 407, № 5. С. 669–672.
4. Гордиенко В.А. Векторно-фазовые методы в акустике. М.: Физматлит, 2007. 560 с.
5. Гордиенко В.А., Гордиенко Т.В., Краснописцев Н.В. и др. Об особенностях векторно-фазовой структуры поля высокочастотных геоакустических предвестников землетрясений // Акуст. журн. 2008. № 54. С. 97–109.
6. Долгих Г.И., Купцов А.В., Ларионов И.А. и др. Деформационные и акустические предвестники землетрясений // Докл. РАН. 2007. Т. 413, № 1. С. 96–100.
7. Клей К., Медвин Г. Акустическая океанография. М.: Мир,



1980. 580 с.
8. Купцов А. В., Ларионов И.А., Шевцов Б.М. Особенности геоакустической эмиссии при подготовке камчатских землетрясений // Вулканология и сейсмология. 2005. № 5. С. 45–59.
  9. Левин Б. В., Сасорова Е. В., Борисов С. А. и др. Оценка параметров слабых землетрясений и их сигналов // Вулканология и сейсмология. 2010. № 3. С. 60–70.
  10. Марапулец Ю.В., Щербина А.О. Методы исследования пространственной анизотропии геоакустической эмиссии // Техническая акустика. 2008. 14. <<http://www.ejta.org>>
  11. Сасорова Е. В., Левин Б. В. Низкочастотные сейсмические сигналы как региональные признаки подготовки землетрясений // Вулканология и сейсмология. 1999. № 4–5. С. 126–133.
  12. Шевцов Б. М., Марапулец Ю.В., Щербина А.О. О направленности приповерхностной высокочастотной геоакустической эмиссии в периоды деформационных возмущений // Докл. РАН. 2010. Т. 430, № 1. С. 119–122.
  13. Brune J.N. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves earthquakes // J. Geophys. Res. 1970. V. 75, N 26. P. 4997–5009.

*Y.V. Marapulets, B.M. Shevtsov, I.A. Larionov, M.A. Mishchenko, A.O. Shcherbina, A.A. Solodchuk*

### **Geoacoustic emission response to deformation processes activation during earthquake preparation**

The results of geoacoustic emission investigations which are carried out on Kamchatka peninsular since 1999 are presented. The peculiarity of the experiments is the application of broad-band piezo-ceramic hydrophones for registration of the emission; the hydrophones are installed in water at the bottom of natural and artificial water reservoirs. Application of such type receivers allows us to broaden the registration frequency range up to 0.1 Hz – 11 kHz compared with the standard hydrophones. Three-component vector receivers with the same frequency range have been used simultaneously to study the spatial structure of geoacoustic emission and the mode of medium particle movement in a wave. In the course of investigations it was determined that 1–3 days before strong earthquakes anomalies of geoacoustic emission in kilohertz frequency range are registered at the distances of the first hundreds of kilometers from an epicenter. As an alternative to anomalies a sharp increase in geoacoustic impulse amplitude and frequency closely resembling micro-earthquakes in form which last from tens of minutes to several hours has been taken. Signals at such frequencies cannot propagate from the epicenters of preparing earthquakes and are response of a medium at the registration point to the change of its stress-strain state. The forming field of stresses determines a primary orientation of the emission sources, which can be assessed by vector-phase methods. The results of the integrated investigations of the emission and the Earth's surface deformations evidences that anomalies before earthquakes are observed with considerable increasing deformation rate both during near surface rock compression and tension.

**Key words:** geoacoustic emission, deformations, hydrophone, combined receiver, laser strainmeter – interferometer, Kamchatka.