

## СТАТИСТИКА ИЗМЕНЕНИЯ АЗИМУТАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В СВЯЗИ С ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ НА КАМЧАТКЕ

А.А. Солодчук

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Паратунка, Россия  
aleksandra@ikir.ru

## STATISTICS OF VARIATIONS IN AZIMUTHAL DISTRIBUTION OF HIGH-FREQUENCY GEOACOUSTIC EMISSION ASSOCIATED WITH KAMCHATKA EARTHQUAKES

A.A. Solodchuk

Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB, RAS, Paratunka, Russia

**Аннотация.** Для оценки изменения направленности геоакустического излучения на Камчатке у дна озера Микижа установлена приемная акустическая система на базе комбинированного векторного приемника. На основе полученных с ее помощью данных за период с августа 2008 г. по декабрь 2016 г. исследованы изменения направленности геоакустической эмиссии во время землетрясений. При анализе использовались 4 группы землетрясений из оперативного сейсмического каталога Камчатского филиала ГС РАН, отобранные по критериям: энергетические классы  $9.0 < K_s \leq 10.0$  на эпицентральной расстоянии  $R \leq 120$  км,  $10.0 < K_s \leq 11.0$  на  $R \leq 190$  км,  $11.0 < K_s \leq 12.0$  на  $R \leq 240$  км и  $K_s > 12.0$  на  $R \leq 350$ . В результате установлено наличие пред- и постсейсмических аномалий в азимутальном распределении высокочастотной геоакустической эмиссии более чем в 70 % рассматриваемых случаев.

**Ключевые слова:** высокочастотная геоакустическая эмиссия, направленность излучения, пред- и постсейсмические аномалии направленности.

**Abstract.** To estimate the changes of geoaoustic emission directivity at Kamchatka, a receiving acoustic system based on a combined vector detector was installed by the bottom of Mikizha Lake. Based on the data received by the system from August 2008 to December 2016, the changes of geoaoustic emission directivity during earthquakes were investigated. Four groups of earthquakes from the online seismic catalogue of Kamchatka Branch of GS RAS were used. They were chosen according to the following criteria: energy classes  $9.0 < K_s \leq 10.0$  at the epicentral distance  $R \leq 120$  km,  $10.0 < K_s \leq 11.0$  at  $R \leq 190$  km,  $11.0 < K_s \leq 12.0$  at  $R \leq 240$  km and  $K_s > 12.0$  at  $R \leq 350$ . In the result, pre- and post-seismic anomalies in the azimuthal distribution of high-frequency geoaoustic emission were detected in more than 70 % of the cases under consideration.

**Keywords:** high-frequency geoaoustic emission, emission directivity, pre- and post-seismic anomalies of the directivity.

### Введение

На полуострове Камчатка в пункте комплексных наблюдений «Микижа» ИКИР ДВО РАН проводятся исследования геоакустической эмиссии в диапазоне от 0.1 Гц до 11 кГц. Анализ сигналов эмиссии показывает, что они состоят из серии релаксационных импульсов различной амплитуды и длительности с ударным возбуждением и частотой заполнения от единиц до десяти и более килогерц. Частота следования импульсов (акустическая активность) определяется деформациями пород и может меняться в широких пределах. В спокойные периоды в зависимости от времени года она составляет величину примерно 0.1–0.5 имп./с и имеет достаточно равномерное распределение по направлениям. В моменты активизации пластического процесса акустическая активность возрастает и на диаграмме ее азимутального распределения наблюдаются выраженные максимумы [Шевцов и др., 2010; Марапулец, Щербина, 2013]. Особенно ярко такие эффекты проявляются в килогерцовом диапазоне частот за некоторое время до землетрясений и после них [Marapulets et al., 2016].

### Методы исследования

В пункте «Микижа» (52.99° N, 158.23° E) установлен автоматизированный аппаратно-програм-

мный комплекс для исследования направленных свойств высокочастотной геоакустической эмиссии. Регистрация сигналов и оценка направления прихода звуковой волны производится с помощью приемной гидроакустической системы, построенной на базе комбинированного векторного приемника производства ЗАО «Геоакустика» при ФГУП «ВНИИФТРИ», размещенной у дна озера Микижа [Марапулец, Щербина, 2015].

Для анализа появления пред- и постсейсмических эффектов в направленности высокочастотной геоакустической эмиссии из оперативного каталога Камчатского филиала ГС РАН были отобраны 4 группы событий, произошедших в период с августа 2008 г. по декабрь 2016 г., с энергетическими классами  $9.0 < K_s \leq 10.0$ ,  $10.0 < K_s \leq 11.0$ ,  $11.0 < K_s \leq 12.0$  и  $K_s > 12.0$  и эпицентрными расстояниями  $R \leq 120$  км,  $R \leq 190$  км,  $R \leq 240$  км и  $R \leq 350$  км соответственно. Такие расстояния выбраны с учетом результатов исследований [Купцов, 2005] и скорректированы по [Добровольский, 1984]. Землетрясения, произошедшие в период с 10 февраля по 09 июля 2013 г., исключены из анализа из-за отсутствия геоакустических данных в указанный период. Таким образом, всего было отобрано 339 сейсмических событий.

В условиях спокойной погоды (слабо меняющееся давление, отсутствие осадков и ветра больше

6 м/с) в интервале  $\pm 5$  сут в окрестности землетрясения рассматривались величина акустической активности  $\Omega(t)$  и ее азимутальное распределение  $D(\alpha, t)$ . Считалось, что в направленности геоакустического излучения наблюдаются аномалии, связанные с сейсмическим событием, когда в вышеуказанном временном интервале частота следования геоакустических импульсов и ее распределение по какому-либо одному или нескольким отдельным направлениям превышают значения соответствующих фоновых уровней в 2.5 и более раз. Значения фоновых уровней выбраны по результатам предварительного анализа ряда многолетних наблюдений акустической активности [Marapulets et al., 2016].

**Результаты исследования и их обсуждение**

Аномалии направленности высокочастотного геоакустического излучения зарегистрированы в окрестностях 251 землетрясений из 339 (74 %). Аномалии, вероятно связанные с несколькими сейсмическими событиями, исключались из дальнейшего рассмотрения из-за сложности определения вклада каждого из событий в формирование пред- и постсейсмических эффектов. Таким образом, при анализе учитывались аномалии направленности эмиссии, наблюдающиеся в окрестности только одного землетрясения. Они были зарегистрированы в 82 случаях. Установлено, что длительность аномалии варьируется в диапазоне от 10 до 50 ч, а повышенная активность регистрируется в основном с направлений, соответствующих азимутам  $50^\circ$ ,  $155^\circ$ ,  $225^\circ$ ,  $330^\circ$ . Следует отметить, что ранее при исследовании направленности геоакустического излучения были выделены аналогичные азимуты [Марапулец, Щербина, 2013].

Анализ аномалий направленности в окрестности сейсмических событий показал, что они возникают за 10–30 ч перед землетрясением и в большинстве случаев продолжают в течение 6–20 ч после него. Зависимости длительности аномалий от класса землетрясения и эпицентрального расстояния не установлены [Marapulets et al., 2016].

На рис. 1, 2 представлены примеры аномалий направленности высокочастотной геоакустической эмиссии.

На рис. 1 показана аномалия, зарегистрированная за 1.5 ч перед землетрясением с энергетическим классом  $K_s=9.8$ , произошедшим 21.05.2016 в 11:04 UT (координаты эпицентра:  $53.05^\circ$  N,  $158.95^\circ$  E) на эпицентрального расстоянии  $R=49$  км, и закончившаяся через 14.5 ч после него (длительность аномалии составила 16 ч). На графике интегральной активности (рис. 1, а) наблюдается резкое увеличение частоты следования геоакустических импульсов (с превышением фонового уровня более чем в 5 раз), которому соответствуют активизация направления в диапазоне  $310\text{--}320^\circ$  и краткосрочное повышение активности по азимуту  $140^\circ$  (рис. 1, б).

Рисунок 2 демонстрирует пример регистрации повышенной акустической активности (рис. 2, а) с разных направлений в окрестностях трех землетря-

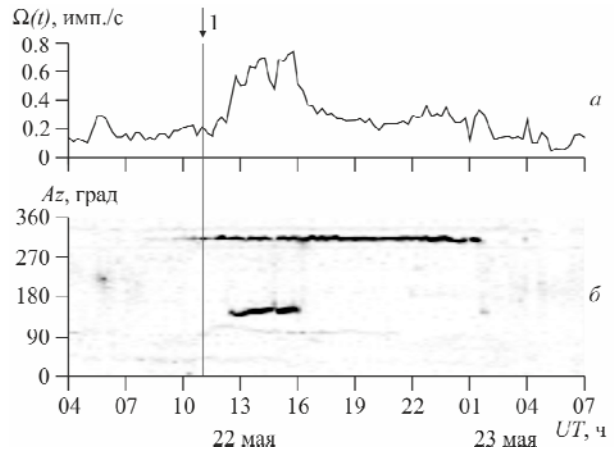


Рис. 1. Акустическая активность  $\Omega(t)$  (а) и ее азимутальное распределение  $D(\alpha, t)$  (б) в окрестности землетрясения с  $K_s=9.8$  и  $R=49$  км.  $Az$  — азимут. Стрелкой с продолжением в линию указан момент землетрясения

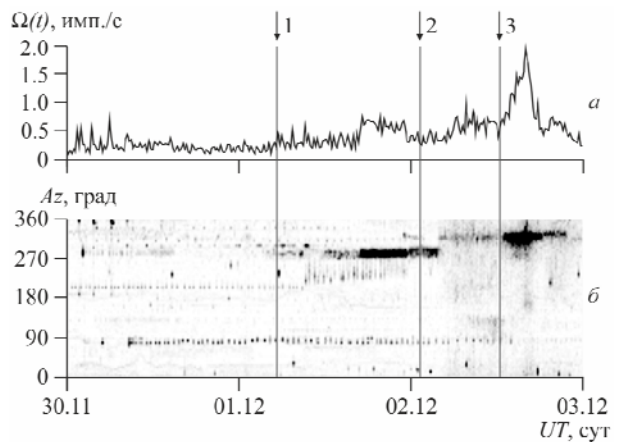


Рис. 2. Акустическая активность  $\Omega(t)$  (а) и ее азимутальное распределение  $D(\alpha, t)$  (б), зарегистрированные в окрестности землетрясений с энергетическими классами  $K_s=11.3$  (1),  $K_s=11.9$  (2) и  $K_s=11.5$  (3).  $Az$  — азимут. Стрелками с продолжением в линии указаны моменты землетрясений

сений: 01.12.2016 в 05:16 UT (координаты эпицентра:  $52.16^\circ$  N,  $158.36^\circ$  E) с энергетическим классом  $K_s=11.3$  и эпицентрального расстоянием  $R=93$  км (1 на графике), 02.12.2016 в 01:16 UT (координаты эпицентра:  $51.39^\circ$  N,  $157.95^\circ$  E) с  $K_s=11.9$ ,  $R=179$  км (2 на графике) и 02.12.2016 12:26 UT (координаты эпицентра:  $50.76^\circ$  N,  $158.01^\circ$  E) с  $K_s=11.5$  и  $R=240$  км (3 на графике). Так, по рис. 2, б видно, что примерно за 13 ч до землетрясения с  $K_s=11.9$  началась аномалия в диапазоне направлений  $270\text{--}290^\circ$ , которая наблюдалась в течение 16 ч. Сразу после нее, предвзяря землетрясение с  $K_s=11.5$ , возникла повышенная активность в диапазоне азимутов  $310\text{--}330^\circ$ , которая сохранялась еще около 4 ч после землетрясения. Аномалия по азимуту  $75^\circ$  наблюдалась в течение 54 ч в окрестности всех трех землетрясений.

**Заключение**

В результате проведенного анализа установлено наличие пред- и постсейсмических аномалий в направленности высокочастотной геоакустической

эмиссии. Они выражались в довольно резком увеличении частоты следования геоакустических импульсов по отдельным направлениям и наблюдались в окрестностях 74 % землетрясений, произошедших за период с августа 2008 г. по декабрь 2016 г. Аномалии возникали за 10–30 ч перед землетрясением и в большинстве случаев продолжались в течение 6–20 ч после него.

### **Список литературы**

Добровольский И. П. Механика подготовки тектонического землетрясения. М.: ИФЗ АН СССР, 1984. 189 с.

Купцов А.В. Изменение характера геоакустической эмиссии в связи с землетрясением на Камчатке // Физика Земли. 2005. № 10. С. 59–65.

Марапулец Ю.В., Щербина А.О. Особенности азимутального распределения потока геоакустических сигналов в условиях изменчивости деформационного процесса в приповерхностных породах // Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений: VI международная конференция, с. Паратунка, Камчатский край, 9–13 сентября 2013 г.: сб. докл. / отв. ред. Б.М. Шевцов. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 2013. С. 316–319.

Марапулец Ю.В., Щербина А.О. Аппаратно-программный комплекс для исследования направленных свойств высокочастотной геоакустической эмиссии // Приборы. 2015. № 9(183). С. 14–19.

Шевцов Б.М., Марапулец Ю.В., Щербина А.О. О направленности приповерхностной высокочастотной геоакустической эмиссии в периоды деформационных возмущений // ДАН. 2010. Т. 430, № 1. С. 119–122.

Marapulets Yu.V., Solodchuk A.A. and Shcherbina A.O. Changes of geoacoustic emission directivity at “Mikizha” cite associated with earthquakes in Kamchatka // VII International Conference “Solar-Terrestrial Relations and Physics of Earthquakes Precursors”, E3S Web of Conferences. V. 11, iss. 00014 (2016). 5 p.