

УДК 534.23:551.254

**ИЗМЕНЕНИЕ НАПРАВЛЕННОСТИ ГЕОАКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
НА СТАНЦИИ «МИКИЖА» В СВЯЗИ С ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ
НА КАМЧАТКЕ**

Ю. В. Марапулец, А. А. Солодчук, А. О. Щербина

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
684034, Камчатский край, Елизовский район, с. Паратунка, ул. Мирная, 7

E-mail: aleksandra@ikir.ru

Для исследования высокочастотного геоакустического излучения на Камчатке установлена приемная система на базе комбинированного векторного приемника, позволяющего определять направление прихода звуковой волны. В результате анализа данных за период с августа 2008 г. по январь 2016 г. установлено, что во время большинства землетрясений Южной Камчатки с $K_s > 9.0$ возникают аномалии в направленности геоакустического излучения.

Ключевые слова: высокочастотное геоакустическое излучение, комбинированный векторный приемник, акустическая активность, направленность геоакустического излучения.

© Марапулец Ю. В., Солодчук А. А., Щербина А. О., 2016

PACS 43.30.Ma:91.60.Dc

**GEOACOUSTIC EMISSION DIRECTIVITY CHANGE
AT «MIKIZHA» STATION ASSOCIATED WITH EARTHQUAKES IN
KAMCHATKA**

Yu. V. Marapulets, A. A. Solodchuk, A. O. Shcherbina

Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS, 684034,
Kamchatka region, Elizovskiy district, Paratunka, Mirnaya str., 7, Russia

E-mail: aleksandra@ikir.ru

To investigate high frequency geoacoustic emission, a receiving system based on a compound vector receiver was installed in Kamchatka. It allows the authors to determine the direction of sound wave arrival. In the result of the data analysis for the period from August 2008 to January 2016, it was determined that geoacoustic emission directivity anomalies occur during the majority of the earthquakes with $K_s > 9.0$ in the South of Kamchatka.

Key words: high frequency geoacoustic emission, compound vector receiver, acoustic activity, geoacoustic emission directivity.

© Marapulets Yu. V., Solodchuk A. A., Shcherbina A. O., 2016

Введение

На полуострове Камчатка в ИКИР ДВО РАН проводятся исследования геоакустического излучения в диапазоне от 0.1 Гц до 10 кГц. Анализ геоакустического сигнала показывает, что он состоит 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 $\Omega(t)$) определяется деформациями пород и может меняться в широких пределах – от одиночных сигналов на временном интервале в несколько секунд в спокойный период до десятков и даже сотен в секунду при активизации пластического процесса, в том числе и перед землетрясениями. Наиболее ярко этот акустический эффект проявляется в килогерцовом диапазоне частот [1], [2]. Были зарегистрированы случаи, когда за несколько суток перед землетрясениями резко возросла величина акустической активности и на диаграмме ее азимутального распределения наблюдались ярко выраженные максимумы [3], [4]. Поэтому целесообразно провести анализ изменения направленности высокочастотного геоакустического излучения при подготовке землетрясений на Камчатке.

Методы исследования

Исследования направленных свойств высокочастотного геоакустического излучения проводятся с помощью аппаратно-программного комплекса, установленного на станции наблюдений «Микижа» ИКИР ДВО РАН. Регистрация геоакустических данных и оценка направления прихода звуковой волны осуществляются с помощью приемной гидроакустической системы, построенной на базе комбинированного приемника производства ЗАО «Геоакустика» при ФГУП «ВНИИФТРИ», размещенного у дна природного водоема [5].

Для анализа изменения направленности геоакустического излучения во время землетрясений из оперативного сейсмического каталога Камчатского филиала ГС РАН были отобраны 4 группы землетрясений, произошедших в период с августа 2008 г. по январь 2016 г., с энергетическими классами $9.0 < K_s \leq 10$, $10 < K_s \leq 11$, $11 < K_s \leq 12$ и $K_s > 12$ и эпицентрными расстояниями $R \leq 120$ км, $R \leq 190$ км, $R \leq 240$ км и $R \leq 350$ км соответственно. Такие расстояния были выбраны с учетом результатов исследований [6] и скорректированы в соответствии с [7]. Землетрясения, произошедшие с 10 февраля по 09 июля 2013 г., исключены из анализа из-за отсутствия геоакустических данных в указанный период. Таким образом, всего было отобрано 276 сейсмических событий.

В условиях спокойной погоды (слабоменяющееся давление, отсутствие осадков и ветра больше 6 м/с) в интервале ± 5 суток 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. Фоновые уровни выбраны по результатам предварительного анализа ряда многолетних наблюдений акустической активности.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате анализа установлено наличие аномалий направленности геоакустического излучения в окрестностях 219 землетрясений из 276 (79%). Аномалии, которые могли быть связаны с несколькими сейсмическими событиями, исключались из дальнейшего рассмотрения из-за сложности определения вклада каждого из событий в исследуемые эффекты. На рис. 1 представлен пример такой аномалии.

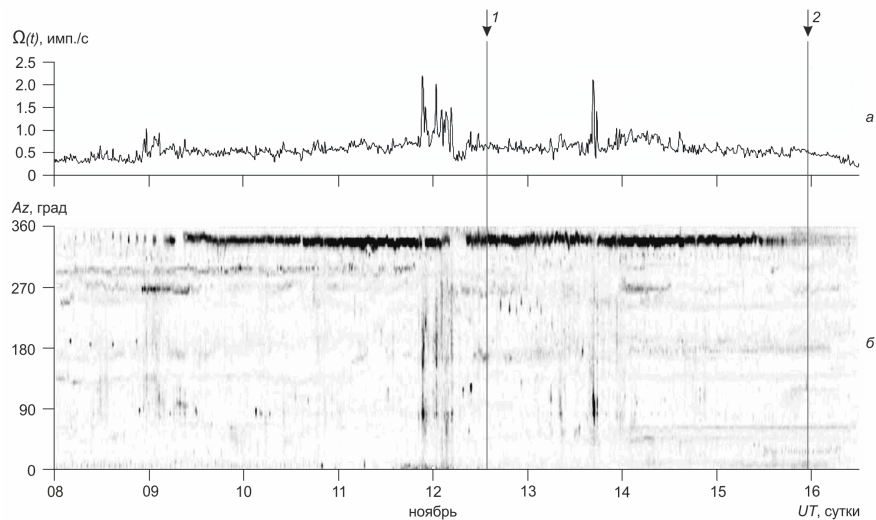


Рис. 1. Акустическая активность $\Omega(t)$ (а) и ее азимутальное распределение $D(\alpha, t)$ (б), зарегистрированные в окрестности землетрясений 12.11.2015 в 13:54 UT (51.39°N , 158.90°E) с $K_s=12.3$ и $R=180$ км (1) и 15.11.2015 в 23:17 UT (52.39°N , 159.36°E) с $K_s=11.7$ и $R=100$ км (2). Az — азимут. Стрелками с продолжением в линии указаны моменты землетрясений.

Таким образом, при анализе учитывались аномалии направленности, наблюдающиеся в окрестности только одного землетрясения. Они были зарегистрированы в 73-х случаях.

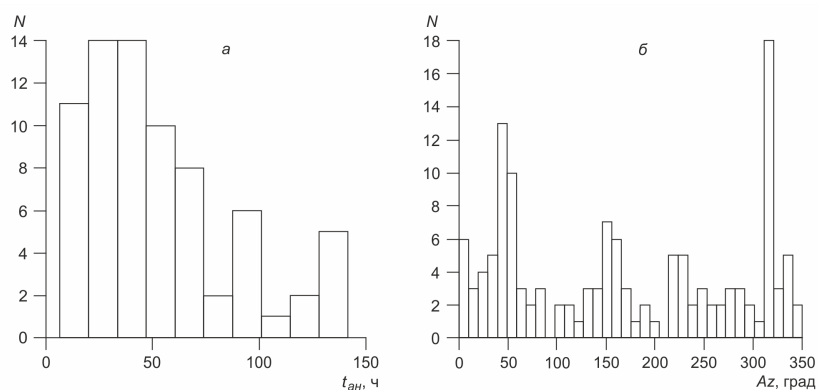


Рис. 2. Гистограммы длительности $t_{ан}$ (а) и азимутов Az (б) аномалий геоакустического излучения. N — количество аномалий.

Установлено, что длительность аномалии варьируется в диапазоне от 10 до 50 ч (рис. 2а), а повышенная активность регистрируется в основном с направлений, соответствующих азимутам 50° , 155° , 225° , 330° (рис. 2б). Аналогичные азимуты были выделены ранее при исследовании направленности геоакустического излучения [4].

Анализ продолжительности аномалий направленности геоакустического излучения 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.

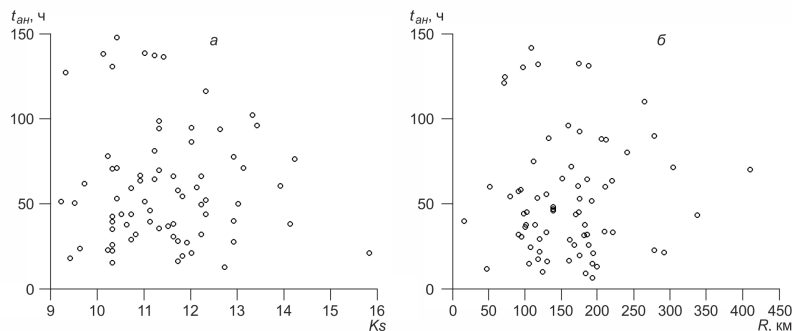


Рис. 3. Зависимости длительности аномалий $t_{ан}$ от класса землетрясения K_s (а) и эпицентрального расстояния R (б).

На рис. 3 показаны зависимости длительности аномалий от класса землетрясения (а) и эпицентрального расстояния (б). Коэффициенты корреляции этих величин составляют -0.04 и 0.01 при уровнях значимости 0.7 и 0.9 соответственно. Таким образом, связь между исследуемыми параметрами не выявлена.

В качестве примеров на рис. 4 и рис. 5 представлены аномалии направленности геоакустического излучения, связанные с землетрясениями.

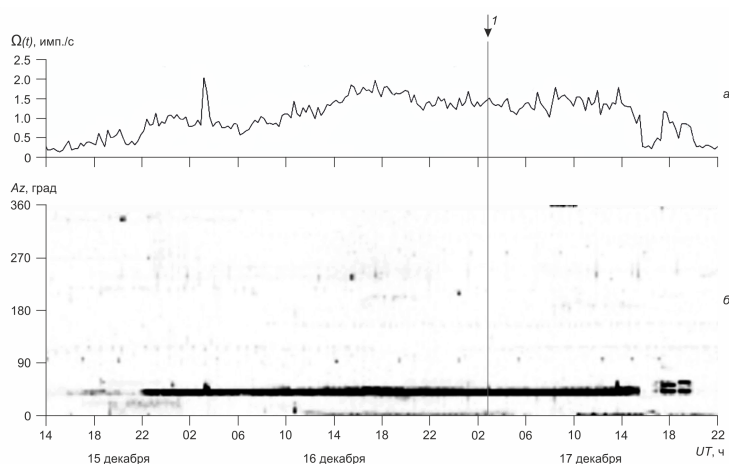


Рис. 4. Акустическая активность $\Omega(t)$ (а) и ее азимутальное распределение $D(\alpha, t)$ (б) в окрестности землетрясения с энергетическим классом $K_s=10.3$ (I). Az — азимут. Стрелкой с продолжением в линию указан момент землетрясения.

На рис. 4 показана аномалия, зарегистрированная за 30 ч перед землетрясением с энергетическим классом $K_s=10.3$, произошедшим 17.12.2012 в 03:10 UT (51.87°N , 159.12°E) на эпицентральной расстоянии $R=140$ км (1 на графике), и закончившаяся через 17 ч после него (длительность аномалии составила 47 ч). На графике интегральной активности (рис. 4а) наблюдается резкое увеличение частоты следования геоакустических импульсов (с превышением фонового уровня более чем в 4 раза), которому соответствует активизация направлений в диапазоне $40^\circ\text{--}50^\circ$ (рис. 4б).

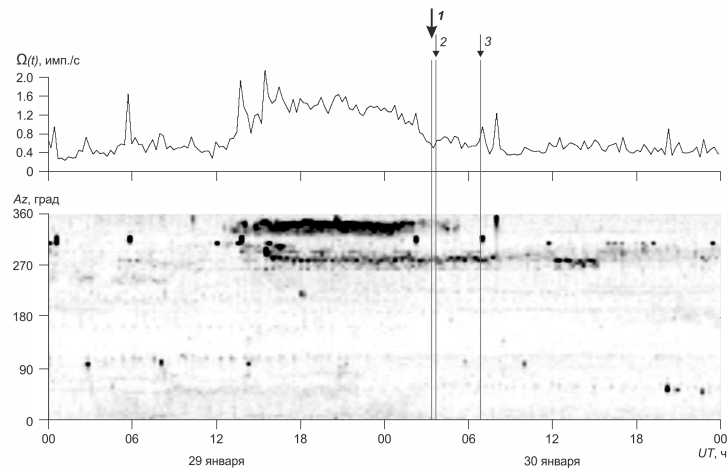


Рис. 5. Акустическая активность $\Omega(t)$ (а) и ее азимутальное распределение $D(\alpha, t)$ (б) в окрестности землетрясения с $K_s=15.7$ (1) и его афтершоков (2 и 3). Az — азимут. Стрелками с продолжением в линии указаны моменты землетрясений.

На рис. 5 представлены аномалии направленности геоакустического излучения, связанные с землетрясением с энергетическим классом $K_s=15.7$, произошедшим 30.01.2016 в 03:25 UT (53.85°N , 159.03°E) на эпицентральной расстоянии $R=110$ км (1 на графике), и его наиболее сильными афтершоками, зарегистрированными 30.01.2016 в 03:42 UT (53.75°N , 159.07°E) с $K_s=11.6$ и $R=100$ км (2 на графике) и в 06:53 UT (53.87°N , 159.21°E) с $K_s=10.5$ и $R=120$ км (3 на графике). Аномалия по диапазону направлений $330^\circ\text{--}350^\circ$ (рис. 5б), при которой наблюдалось превышение фонового уровня акустической активности более чем в 5 раз (рис. 5а), началась за 15 ч до землетрясения с $K_s=15.7$ и закончилась примерно за 30 минут до него. Практически одновременно с ней по азимуту 280° (рис. 5б) зарегистрировано несколько меньшее повышение активности, которое продолжалось и после землетрясения и вероятнее всего связано с наличием афтершоков.

Заключение

Таким образом, в результате анализа изменения направленности высокочастотного геоакустического излучения установлено наличие аномалий, связанных с землетрясениями. Они выражаются в довольно резком увеличении частоты следования геоакустических импульсов по отдельным направлениям. Такие эффекты возникают за 10–30 ч перед землетрясением и в большинстве случаев продолжают в течение 6–20 ч после него.

Список литературы

- [1] Долгих Г.И., и др., “Деформационные и акустические предвестники землетрясений”, *ДАН*, **413**:1 (2007), 96–100, [English transl.: Dolgikh G.I., et al., “Deformation and acoustic precursors of earthquake”, *Doklady Earth Sciences*, 413:2 (2007), 281–285].
- [2] Марапулец Ю.В., Шевцов Б.М., *Мезомасштабная акустическая эмиссия*, Дальнаука, Владивосток, 2012, 126 с., [Marapulets Yu. V., Shevtsov B. M., *Mezomasshtabnaya akusticheskaya emissiya* [Mesoscale acoustic emission], Dal'nauka, Vladivostok, 2012, 126 p. (in Russian)].
- [3] Шевцов Б.М., Марапулец Ю.В., Щербина А.О., “О направленности приповерхностной высокочастотной геоакустической эмиссии в периоды деформационных возмущений”, *ДАН*, **430**:1 (2010), 119–122, [English transl.: Shevtsov B. M., Marapulets Yu. V., Shcherbina A. O., “Directionality of surface high-frequency geoacoustic emission during deformational disturbances”, *Doklady Earth Sciences*, 430:1 (2010), 67–70].
- [4] 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.), ред. Шевцов Б.М., сб. докл., Изд-во ИКИР ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 2013, 316–319, [Marapulets Yu. V., Shcherbina A. O., “Osobennosti azimutal'nogo raspredeleniya potoka geoakusticheskikh signalov v usloviyakh izmenchivosti deformatsionnogo protsessa v pripoverkhnostnykh porodakh” [“Features of geoacoustic signal flow azimuthal distribution in the conditions of deformation process variability in the near-surface rocks”], *Solnechno-zemnye svyazi i fizika predvestnikov zemletryaseniya*, VI mezhdunarodnaya konferentsiya (s. Paratunka, Kamchatskiy kray, 9–13 sentyabrya 2013 g.), red. Shevtsov B. M., sb. dokl., Izd-vo IKIR DVO RAN, Petropavlovsk-Kamchatskiy, 2013, 316–319 (in Russian)].
- [5] Марапулец Ю.В., Щербина А.О., “Аппаратно-программный комплекс для исследования направленных свойств высокочастотной геоакустической эмиссии”, *Приборы*, 2015, №9(183), 14–19, [Marapulets Yu. V., Shcherbina A. O., “Apparatno-programmnyy kompleks dlya issledovaniya napravlennykh svoystv vysokochastotnoy geoakusticheskoy emissii” [“Hardware-software complex to research directional properties of high frequency geoacoustic emission”], *Pribory*, 2015, No.9(183), 14–19 (in Russian)].
- [6] Купцов А.В., “Изменения характера геоакустической эмиссии, соответствующие заключительной стадии развития сейсмических событий”, *Физика Земли*, 2005, №10, 59–65, [English transl.: Kuptsov A. V., “Variations in the acoustic emission pattern related to earthquakes on Kamchatka”, *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, 41:10 (2005), 825–831].
- [7] Добровольский И.П., *Механика подготовки тектонического землетрясения*, ИФЗ АН СССР, М., 1984, 189 с., [Dobrovol'skiy I. P., *Mekhanika podgotovki tektonicheskogo zemletryaseniya* [Mechanics of tectonic earthquake preparation], IFZ AN SSSR, M., 1984, 189 p. (in Russian)].

Для цитирования: Марапулец Ю.В., Солodчук А.А., Щербина А.О. Изменение направленности геоакустического излучения на станции «Микижа» в связи с землетрясениями на Камчатке // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*. 2016. № 4(15). С. 74-79. DOI: 10.18454/2079-6641-2016-15-4-74-79

For citation: Marapulets Yu. V., Solodchuk A. A., Shcherbina A. O. Geoacoustic emission directivity change at «Mikizha» station associated with earthquakes in Kamchatka, *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki*. 2016, **15**: 4, 74-79. DOI: 10.18454/2079-6641-2016-15-4-74-79

Поступила в редакцию / Original article submitted: 10.06.2016