

Особенности азимутального распределения потока геоакустических сигналов в условиях изменчивости деформационного процесса в приповерхностных породах

МАРАПУЛЕЦ Ю.В., ЩЕРБИНА А.О.

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
Россия

marpl@ikir.ru albert_pkam@mail.ru

На камчатском геодинамическом полигоне в ИКИР ДВО РАН проводятся исследования геоакустической эмиссии в частотном диапазоне от 0.1 Гц до 10 кГц с помощью гидрофонов, установленных в естественных и искусственных водоемах [1]. Показано, что типичный геоакустический сигнал складывается из последовательности релаксационных импульсов различной амплитуды и длительности с ударным возбуждением и частотой заполнения от единиц до десятков килогерц. В результате исследований было установлено, что в суточном временном интервале до готовящегося землетрясения, наблюдается повышение интенсивности геоакустической эмиссии. Этот эффект наиболее ярко проявляется в килогерцовом диапазоне частот и определяется деформациями пород в пунктах наблюдений на удалении первых сотен километров от эпицентров готовящихся землетрясений. Период возмущений характеризуется повышением амплитуды отдельных импульсов и существенным увеличением их потока (числа импульсов в единицу времени).

Поскольку прочность пород по отношению к касательным напряжениям меньше, чем к сжатию, то в области излучения геоакустической эмиссии преобладают сдвиговые источники акустической эмиссии. В работе [2] показано, что ориентация сдвиговых источников обусловлена направлением максимальных касательных напряжений, ориентированных преимущественно под углом 45° к оси наибольшего сжатия. При этом максимумы продольных акустических колебаний приходятся на направления, перпендикулярные этой оси для волны сжатия и совпадающие с ней для волны разряжения (рис. 1). Как правило, волна сжатия по интенсивности существенно больше волны разряжения, что связано с особенностями процессов разрушения и диссипации энергии. Поперечные колебания в работе не рассматриваются, так как регистрация данных производится в водной среде, где они не распространяются.

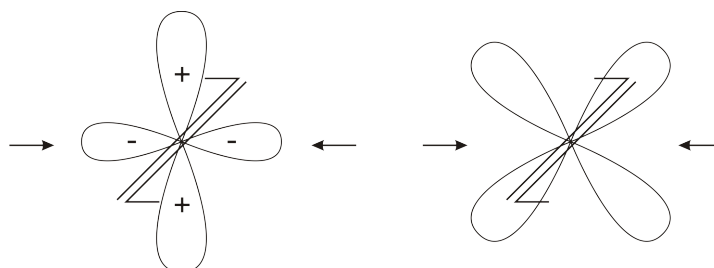


Рис. 1. Диаграмма излучения продольных акустических колебаний сдвиговыми источниками. Стрелками отмечена ось наибольшего сжатия, знаком “+” обозначены направления излучения волн сжатия, знаком “-” – волн разряжения

В периоды фоновых деформаций, когда сдвиговые источники распределены вокруг приемника равномерно и их ориентация, при отсутствии деформационных возмущений, произвольна, диаграмма распределения интенсивности геоакустического излучения по направлениям в точке приема должна быть достаточно равномерной (рис. 2а). Увеличение напряжений, например, при подготовке землетрясений, приведет к появлению в зоне геоакустической эмиссии большого числа одинаково ориентированных сдвиговых источников (рис. 2б). Вследствие того, что они имеют специфичную диаграмму направленности (рис. 1), в точке приема будут регистрироваться сигналы преимущественно с направлений, перпендикулярных оси сжатия, и в меньшей степени – с параллельных ей.

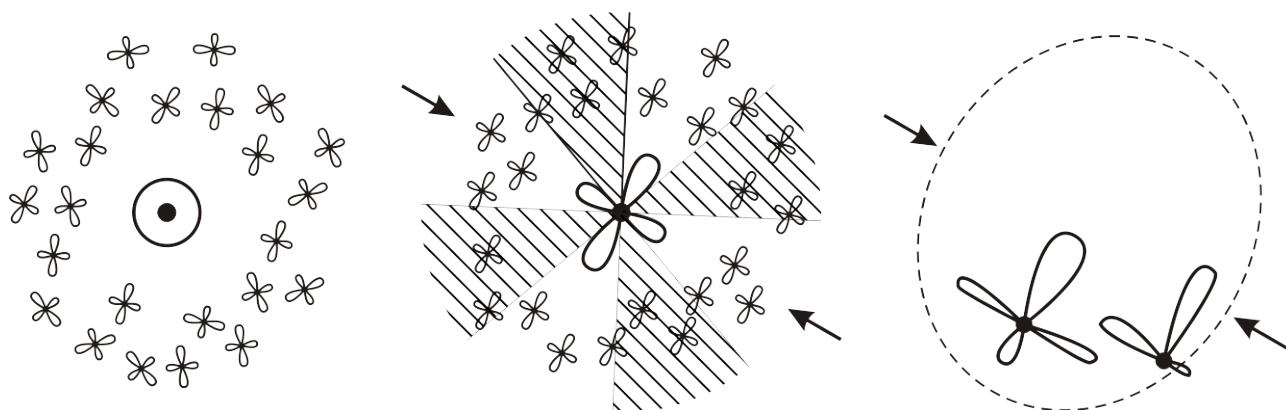


Рис. 2. Схема ориентации сдвиговых источников относительно места наблюдений в фоновый период а) и при возникновении удаленного источника напряжений б). Точкой показано место наблюдения, толстой линией - примерные диаграммы распределения интенсивности геоакустического излучения по направлениям в точках приема, штриховкой – зоны расположения источников сигнала, не излучающих сигнал в направлении приемника. Стрелками отмечена ось наибольшего сжатия

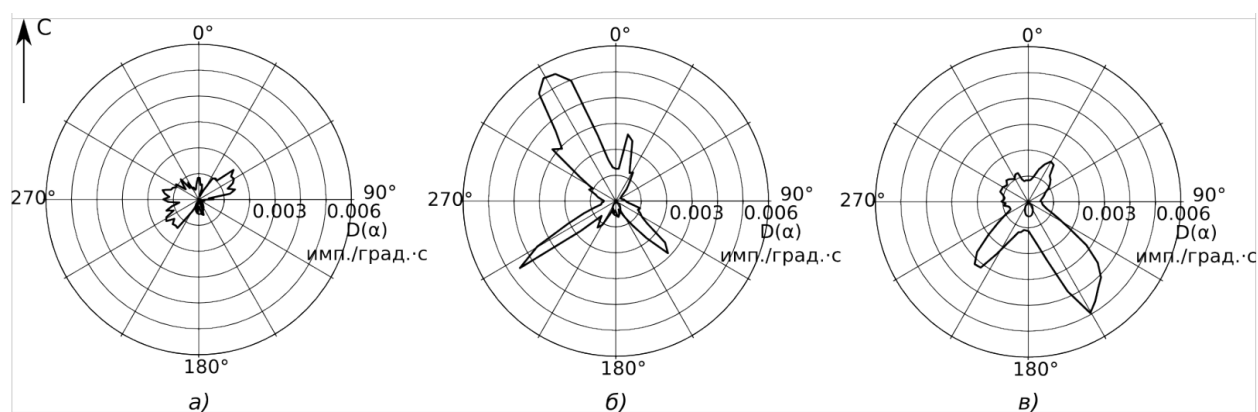


Рис. 3. Азимутальное распределение потока геоакустических импульсов в фоновый период 10.05.2010 (а) и предшествующий землетрясениям 25.09.2011 (б) и 23.07.2009 (в)

Исследования направленности геоакустического излучения были проведены с помощью измерительного аппаратно-программного комплекса, установленного на станции “Микижа” ИКИР ДВО РАН [3, 4]. Основу комплекса составил векторный приемник и специальный реализованный в программе алгоритм обработки геоакустических импульсов. Используя характерные особенности геоакустического сигнала, данные технические и программные средства позволяют выделять из фонового сигнала импульсы геоакустической природы и анализировать направления на их источники. В качестве оценки используется

распределение потока импульсов $D(\alpha)$, определяющейся как число импульсов, зарегистрированных по направлению α в единицу времени.

Исходя из времени затухания импульсов и коэффициента ослабления сигнала в осадочных породах определено, что область, в пределах которой находятся источники акустических сигналов, регистрируемых приемником, ограничена радиусом порядка 30 м.

Рассмотрим свойства геоакустической эмиссии в сейсмически спокойный (фоновый) период. Пример такого периода, зарегистрированного 10.05.2010 в условиях отсутствия деформационных и атмосферных возмущений, представлен на рис. 3а. Как видно, приведенная диаграмма характеризуется достаточно равномерным распределением, что свидетельствует о том, что в период регистрации импульсы фиксировались со всех направлений примерно в равной степени. По множеству нерегулярно расположенных максимумов можно судить о сложном характере действующих в тот момент напряжений, а по асимметрии их расположения можно сделать вывод о неоднородности свойств среды вокруг точки наблюдения.

Примеры азимутального распределения потока импульсов $D(\alpha)$ в периоды активизации деформаций приведены на рис. 3б и 3в. В данном случае наибольшее значение имеют две особенности. Первая – то, что в период возмущения наблюдается значительная неоднородность азимутального распределения потока импульсов, отсутствующая у распределения, характерного для фонового периода. Вторая – четко выраженная и сохраняющаяся структура диаграммы, состоящая из некоторого числа (от 2 до 4) максимумов, повернутых относительно друг друга на угол близкий 90° или 180° .

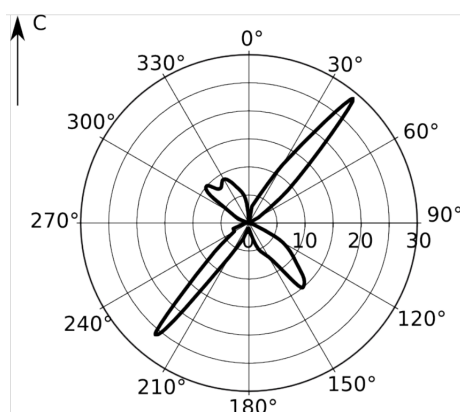


Рис. 4. Диаграмма распределения азимутов направлений, наиболее активно излучающих геоакустические сигналы в периоды активизации деформационных процессов перед землетрясениями в 2008 – 2012 г.г.

Несмотря на присутствующие искажения, обусловленные, по всей видимости, сложностью источников сигнала и неравномерностью среды распространения, диаграммы азимутального распределения потока импульсов геоакустической эмиссии имеют значительные сходства со схемой на рис. 2б. Учитывая представленные на рис. 3б и 3в диаграммы и описанные выше положения, можно сделать вывод, что в периоды, предшествующие землетрясениям, в области вокруг приемника образовывается большое количество одинаково ориентированных сдвиговых источников акустических сигналов, обусловленных действием деформационного процесса, охватывающего весь контролируемый объем пород. Направление оси сжатия в этот период должно быть ориентировано перпендикулярно максимуму геоакустического излучения, формируемого волнами сжатия. Но так как реальный сигнал распространяется в неоднородной среде, диаграмма направленности азимутального распределения потока импульсов искажается, разница в ее частях сформированных волнами сжатия и растяжения сдвиговых источников изменяется неопределенным обра-

зом. Вследствие этого во многих случаях определение одного из двух перпендикулярных друг другу направлений, как направления сжатия (например, 60° и 150° на рис. 3б или 45° и 150° на рис. 3в, вызывает существенные сложности.

Детально рассматривая графики, представленные на рис. 3б и 3в, можно отметить, что, несмотря на разные временные периоды регистрации, ориентация диаграмм азимутального распределения потока геоакустических импульсов сильно не меняется. Данная особенность свидетельствует о том, что в обоих случаях направление оси сжатия, характеризующей деформационные процессы, было примерно одинаковым. В ходе исследований установлено, что указанная особенность сохранялась и в другие периоды. Для иллюстрации этого рассмотрим диаграмму, отображенную на рис. 4. Приведенный график представляет собой распределение азимутов направлений, наиболее активно излучающих геоакустические сигналы в 74 случаях активизации деформационных процессов перед землетрясениями, зарегистрированных в 2008 – 2012 гг.

Как видно, полученная диаграмма характеризуется существенной неравномерностью – наиболее часто максимумы активности геоакустической эмиссии наблюдались с направлений около 40° и 220° , несколько реже – с направлений 140° и более широкого диапазона 300° – 340° .

Анализ данных, представленных на рис. 4 позволяет направление 137° – 317° , как перпендикулярное максимуму акустического излучения, считать наиболее вероятным для оценки ориентации оси наибольшего сжатия. Следует отметить, что полученный результат близок к генеральному направлению действия тектонических напряжений у побережья Южной Камчатки, которое равно 125° градусов [5].

Литература

1. *Купцов А.В.* Изменение характера геоакустической эмиссии в связи с землетрясением на Камчатке / А. В. Купцов // Физика Земли. – 2005. – №10. – С. 59-65.
2. *Виноградов С.Д.* Условия на разрыве и спектры излучаемых им волн // Изв. АН СССР. Физика Земли. – 1976. – №7. – С. 20-26.
3. *Марапулец Ю.В.* Методы исследования пространственной анизотропии геоакустической эмиссии / Ю. В. Марапулец, А. О. Щербина // Электронный журнал “Техническая акустика”. – 2008. – №14. – <http://ejta.org>.
4. *Щербина А.О.* Изменение направленности высокочастотной геоакустической эмиссии в периоды деформационных возмущений. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. С. Паратунка, ИКИР. – 2010. 24 с.
5. *Короновский Н.В.* Напряженное состояние Земной коры //Соросовский образовательный журнал. – 1997. – №1. – С. 50-56.

Features of geoacoustic signal flow azimuthal distribution in the conditions of deformation process variability in the near-surface rocks

Marapulets Yu.V., Shcherbina A.O.

Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation FEB RAS, Russia

The results of long-term investigation of geoacoustic emission directional properties, carried out by a vector receiver in Kamchatka seismically active zone, are presented. Peculiarities of geoacoustic signal azimuthal distribution during weak (background) deformations are considered. Emission properties during deformation activity, including the periods of seismic process preparation, are investigated. The paper summarizes the results of several tens of cases.