

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОН ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

MODELING OF GEOACOUSTIC EMISSION ZONES

А.С. Пережогин, Б.М. Шевцов, Р.Н. Сагитова, Г.М. Водинчар

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

Modeling of geoaoustic emission zones was considered. Stress-strain state was calculated. The results were collated with observed data of geoaoustic emission.

При проведении геоакустических наблюдений на Камчатке регистрируются предвестники землетрясений в килогерцовом диапазоне частот за сотни километров от эпицентров [2, 4, 5]. В работе предлагается модель формирования зон геоакустической эмиссии, объясняющая особенности этих наблюдений, которые выражаются в том, что фоновый уровень акустических сигналов соответствует уровню приливных относительных деформаций 10^{-8} , а в период подготовки землетрясений происходит повышение деформаций и интенсивности геоакустической эмиссии примерно за день до события на один-два порядка [4, 5].

Для описания механизма очага землетрясений была использована математическая модель простой сосредоточенной силы в упругом полупространстве [3]. В данной работе выполнены расчеты полей напряжений и деформаций для произвольно ориентированной простой силы и рассмотрено формирование пространственных зон геоакустической эмиссии с различными уровнями деформаций в районе наблюдений. Модельные расчеты позволили определить особенности зон и расстояния, на которых возможна регистрация геоакустических сигналов для реальных сейсмических событий.

Будем рассматривать земную кору как однородное, изотропное и упругое полупространство. Решение задачи Миндлина для сосредоточенной силы в упругом полупространстве может быть использовано при моделировании зон дилатансии [1]. Миндлином найдены аналитические выражения для напряжений и деформаций в случае, когда сила действует под углом к границе полупространства. Ниже будем рассматривать единственную отличную от нуля вблизи свободной поверхности недиагональную компоненту тензора напряжений:

$$\begin{aligned}
 t_{xy} = & \frac{F_x y}{8p(1-n)} \left(-\frac{1-2n}{R_1^3} + \frac{1-2n}{R_2^3} - \frac{3x^2}{R_1^5} - \frac{3x^2(3-4n)}{R_2^5} - \frac{4(1-n)(1-2n)}{R_2(R_2+z+c)^2} \right) \times \\
 & \times \left(1 - \frac{x^2(3R_2+z+c)}{R_2^2(R_2+z+c)} - \frac{6cz}{R_2^5} \left(1 - \frac{5x^2}{R_2^2} \right) \right) + \frac{F_z xy}{8p(1-n)} \left(-\frac{3(z-c)}{R_1^5} - \frac{3(3-4n)(z-c)}{R_2^5} + \right. \\
 & \left. + \frac{4(1-n)(1-2n)}{R_2^2(R_2+z+c)} \left(\frac{1}{R_2+z+c} + \frac{1}{R_2} \right) - \frac{30cz(z+c)}{R_2^7} \right) \quad (1)
 \end{aligned}$$

где ν – коэффициент Пуассона, c – глубина приложения силы, F_x – проекция силы на ось ОХ, F_z – проекция силы на ось ОZ, $R_1 = \sqrt{(x^2 + y^2 + (z-c)^2)}$, $R_2 = \sqrt{(x^2 + y^2 + (z+c)^2)}$, которая отвечает за сдвиговые деформации. Диагональные компоненты тензора напряжений описывают сжатия и растяжения. По отношению к первым прочность пород значительно выше, поэтому сжатия можно не рассматривать.

Рассмотрим зоны относительных сдвиговых деформаций для землетрясений, перед которыми геоакустические сигналы уверенно регистрировались в пунктах наблюдения. Выберем параметры упругой среды аналогично работе [1]: коэффициент Пуассона $\nu = 0.25$, модуль Юнга – 8.7×10^{10} Па. Результаты вычислений по формуле (1) модуля недиагональной компоненты тензора напряжений τ_{xy} представлены на рисунке 2, на

которых штриховкой показаны пространственные зоны по уровням относительных сдвиговых деформаций: 10^{-8} - 10^{-7} , 10^{-7} - 10^{-6} , 10^{-6} - 10^{-5} и 10^{-5} - 10^{-4} .

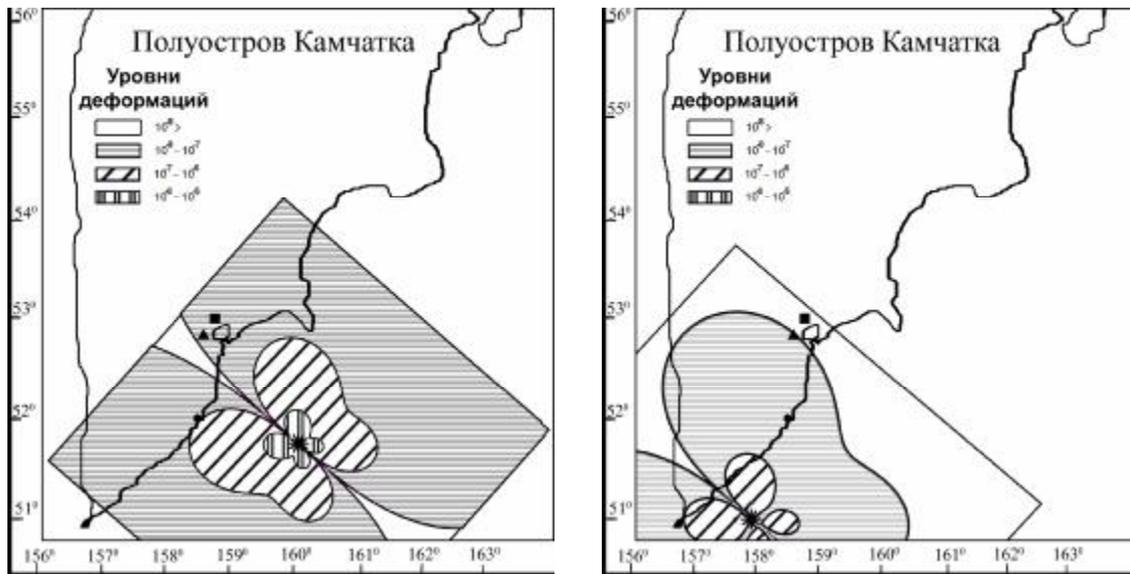


Рис.2. Зоны относительных сдвиговых деформаций. * - землетрясение, ▲ и ■ – пункты наблюдений.

Зоны относительных сдвиговых деформаций по уровню больше 10^{-8} , который выше фоновых, для сейсмических событий с $K > 12$ простираются на расстояния до 200 км. Однако столь простая модель не может дать описание всех особенностей распространения деформаций. Так, например, геоакустические эффекты наблюдались у событий с $K = 13$ и на удалении до 600 км от эпицентров [4, 5]. Это может быть связано с пространственной неоднородностью сейсмического полигона или распространением тектонических волн. Кроме того, может сказываться влияние верхних осадочных пород, существенно отличающихся по своим физическим свойствам от базальтов, параметры которых были использованы в данной работе.

При всей простоте модель может объяснить парадоксальные случаи отсутствия геоакустических эффектов в близких пунктах наблюдений, которые располагаются недалеко от оси симметрии зон. Один из примеров ослабления геоакустических эффектов в зависимости от положения пунктов наблюдений представлен на рис. 3. Данное явление долго не находило объяснения, пока не были выполнены эти деформационные расчеты.

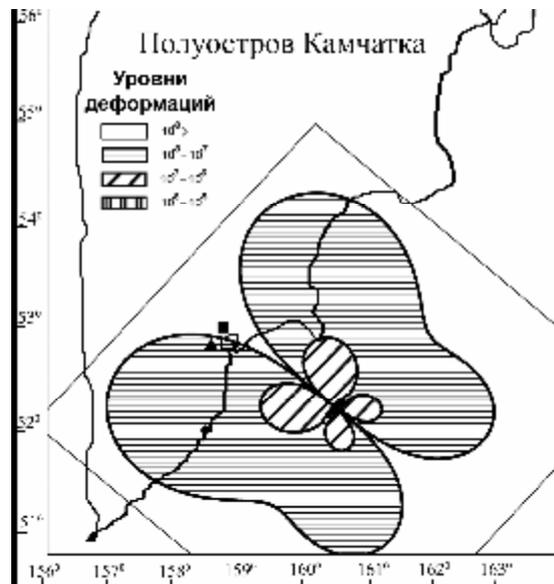


Рис.3. Зоны относительных сдвиговых деформаций. ▲ и ■ – пункты наблюдений.

Согласно свойствам сдвиговых источников в упругой среде, максимум углового распределения их акустического излучения совпадает с вектором смещения. В рамках модели Миндлина были проведены расчеты векторов смещений. Затем было найдено отклонение направлений векторов смещений от направлений радиус-векторов точек пространства, рис. 4. Расчеты показывают, насколько пеленг акустических сигналов отклоняется от направления на источник деформаций. При анализе наблюдений геоакустической эмиссии [2,4] установлено, что отклонение пеленга акустического сигнала от направления на источник деформаций меняется в пределах от 2 до 54 градусов (среднее значение 27.8°). Свойство пеленга акустического сигнала позволяет осуществлять локацию областей подготовки землетрясений [5].

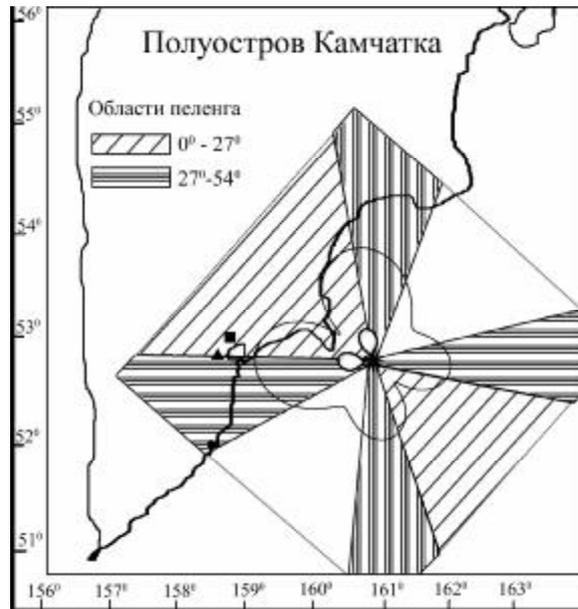


Рис.4. Области отклонения пеленга акустических сигналов от направления на источник деформаций. ▲ и ■ – пункты наблюдений.

Список литературы

1. Алексеев А.С., Белоносов А.С., Петренко В.Е. О концепции многодисциплинарного прогноза землетрясений с использованием интегрального предвестника // Проблемы динамики литосферы и сейсмичности: Сб. науч. тр. – М. : ГЕОС, 2002. (Вычислительная сейсмология, вып. 32), С. 81-97.
2. Гордиенко В.А., Гордиенко Т.В., Купцов А.В., Ларионов И.А., Марापалец Ю.В., Руленко А.Н., Шевцов Б.М. Геоакустическая локация областей подготовки землетрясений // Доклады академии наук. 2006. Т. 407. С. 669-672.
3. Купцов А.В. Изменение характера геоакустической эмиссии в связи с землетрясением на Камчатке // Физика Земли. 2005. № 10. С. 59-65.
4. Касахара К. Механика землетрясения. – М. : Мир, 1975.
5. Купцов А.В. Изменение характера геоакустической эмиссии в связи с землетрясением на Камчатке // Физика Земли. 2005. № 10. С. 59-65.
6. Купцов А.В., Ларионов И.А., Шевцов Б.М. Особенности геоакустической эмиссии при подготовке камчатских землетрясений // Вулканология и сейсмология. 2005. № 5. С. 45-59.
7. Mindlin R., Cheng D. – The unit force in elastic half-space // J. Appl. Phys. 1950. Vol. 20, No 9. P. 118-133.