

**ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ (500 – 1000 Гц) ГЕОАКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ ВО  
ВРЕМЕННЫХ ОКРЕСТНОСТЯХ СИЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ ПО  
ДАНЫМ СКВАЖИННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА ПЕТРОПАВЛОВСК – КАМЧАТСКОМ  
ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ**

*Гаврилов В.А., Бусс Ю.Ю.*

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, vgvavr@kscnet.ru*

До последнего времени скважинные геоакустические измерения на Камчатке были связаны, в основном, с исследованием в частотном диапазоне первых сотен герц, в котором наиболее ярко проявляется влияние слабого электромагнитного излучения звукового диапазона частот на интенсивность геоакустической эмиссии (ГАЭ) [2, 3, 4, 5]. Между тем, как показывает анализ данных, полученных во временных окрестностях ряда сильных сейсмических событий, проведение скважинных геоакустических измерений в высокочастотной (500 – 1000 Гц) части спектра ГАЭ совместно с рядом других видов измерений, позволяет получать новые важные результаты, касающиеся, например, идентификации стадий напряженно – деформированного состояния геосреды.

В качестве примера на рис. 1 представлены результаты геоакустических измерений в

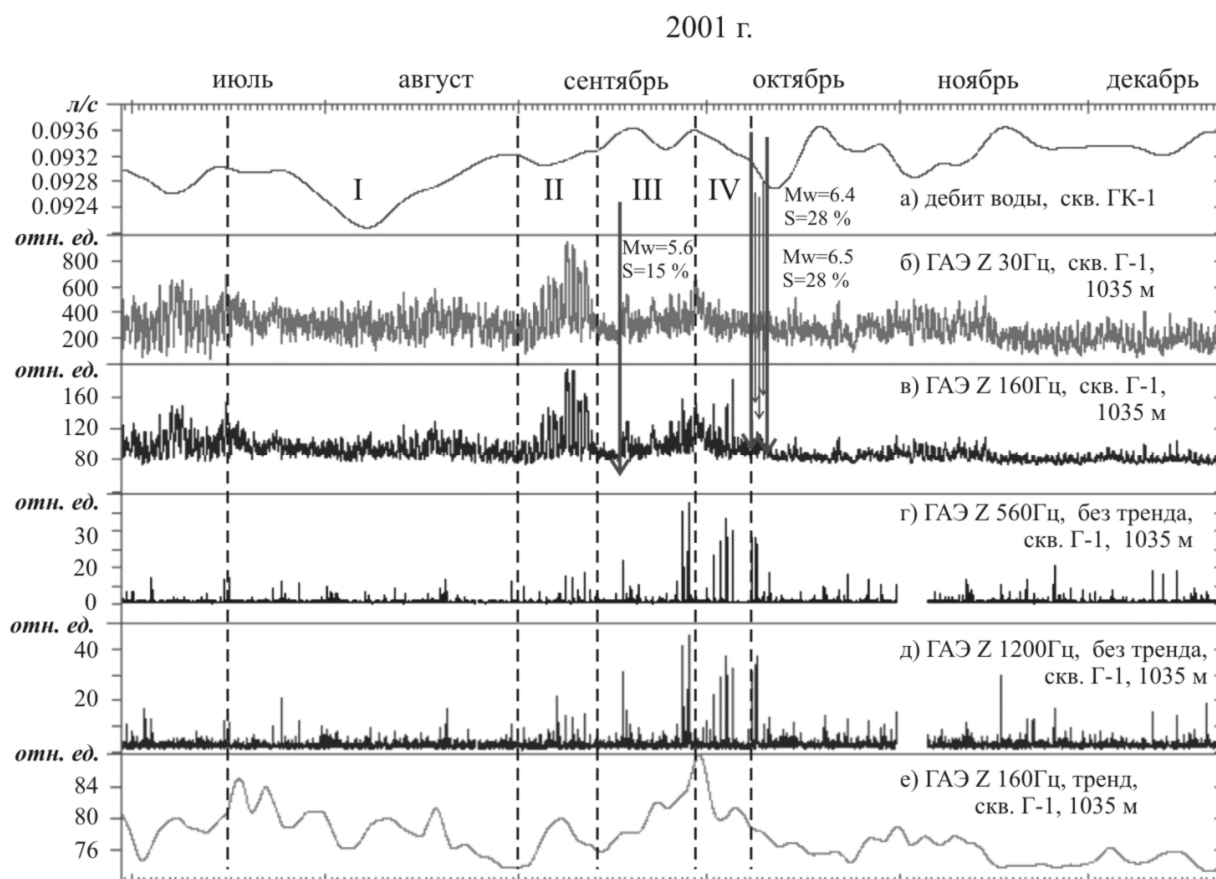


Рис. 1. Результаты геоакустических измерений по различным частотным каналам во временной окрестности роя землетрясений в октябре 2001 г. (скважина Г-1, глубина 1035 м, Z-компонента): (а) – ряд дебита воды скважины ГК-1; (б) - ряд СКЗ ГАЭ для канала 30 Гц; (в) - ряд СКЗ ГАЭ для канала 160 Гц; (г) - ряд СКЗ ГАЭ для канала 560 Гц; (д) - ряд СКЗ ГАЭ для канала 1200 Гц; (е) – изменения трендовой составляющей ряда СКЗ ГАЭ для канала 160 Гц.

скважине Г-1 (Петропавловск – Камчатский геодинамический полигон) для временной окрестности роя сильных землетрясений в Авачинском заливе (восточное побережье Камчатки) в октябре 2001 г. Указанный рой землетрясений относится к числу наиболее сильных из подобных сейсмических

событий, имевших место за все время скважинных измерений на Петропавловск – Камчатском геодинамическом полигоне. Большинство землетрясений роя произошло с 07 октября по 10 октября 2001 г. на эпицентральных расстояниях около 130 км от скважины Г-1. Наиболее сильное землетрясение роя ( $M_1=6.3$ ) ощущалось в г. Петропавловске – Камчатском силой до 5 баллов и сопровождалось многочисленными афтершоками.

Данные геоакустических измерений, приводимые на рис. 1, были получены при измерениях в скважине Г-1 на глубине 1035 м с применением геофона типа МАГ – 3С с датчиками на основе магнитоупругих материалов [1]. На указанном рисунке приведены также данные измерений дебита скважины ГК-1 (см. рис. 1а), любезно представленные Камчатским филиалом ГС РАН.

В соответствии с характером геоакустических данных, рассматриваемый на рис. 1 временной интервал можно разделить на четыре стадии. Для **стадий I и II** данные комплексных скважинных измерений достаточно детально анализировались в [2, 6, 7]. При этом, в частности, было показано, что резкий и значительный рост амплитуд откликов ГАЭ на **стадии II** может быть объяснен увеличением флюидонасыщенности шумовой зоны геофона за счет подтока флюида из более глубоких горизонтов геосреды, а также интенсификации электрокинетических процессов.

Начало **стадии III** совпадает с началом спада амплитуд откликов ГАЭ. К концу **стадии III** примерно за 38 суток до основных землетрясений роя **значительно возросло общее число импульсов ГАЭ и число высокоамплитудных импульсов по высокочастотным (560 и 1200 Гц) геоакустическим каналам** (см. рис. 1г, д). Одновременно имело место возрастание ГАЭ и на низкочастотных каналах (30 и 160 Гц) при отсутствии откликов ГАЭ на изменения внешнего ЭМИ. Указанные процессы происходили на фоне активного роста трендовой составляющей ряда ГАЭ канала 160 Гц (см. рис. 1е).

Для понимания физической сути результатов измерений **на стадии III**, необходимо пояснить, что изменения трендовой составляющей рядов ГАЭ в общем случае связаны с изменениями уровня шумов трения в контролируемом геофоном порово – трещинном пространстве шумовой зоны. При достаточно высокой флюидонасыщенности шумовой зоны изменения трендовой составляющей рядов ГАЭ отражают изменения скорости фильтрации жидкого флюида. В случае экстремально низкой флюидонасыщенности рост трендовой составляющей будет связан с возрастанием сил трения скольжения между гранулами пород и бортами существующих трещин из-за увеличения коэффициентов трения и роста сил нормального давления. Также необходимо подчеркнуть, что согласно [5], отсутствие откликов ГАЭ на внешнее ЭМИ указывает на крайне низкую флюидонасыщенность контролируемой геофоном шумовой зоны. В этой связи, основной причиной значительных изменений трендовой составляющей ГАЭ **на стадии III**, а также резкого роста **числа высокоамплитудных импульсов по высокочастотным (560 и 1200 Гц) геоакустическим каналам** (см. рис. 1е) могло быть только значительное возрастание сил трения скольжения между гранулами пород и бортами существующих трещин вследствие значительного снижения флюидонасыщенности шумовой зоны. В целом характер данных на **стадии III** указывает на рост напряжений в зоне скважины Г-1.

Согласно данным, приводимым на рис. 1, начало **стадии IV** совпадает с уменьшением интенсивности ГАЭ для каналов 30 Гц и 160 Гц и **значительным ростом активности геоакустических процессов для высокочастотных каналов**. Такое сочетание данных можно интерпретировать как следствие начала процесса сброса напряжений в зоне скважин Г-1 и ГК-1, закончившееся роем землетрясений. Интенсивность ГАЭ для каналов 30 Гц и 160 Гц на **стадии IV** уменьшалась, в то время **как уровень ГАЭ в высокочастотной части спектра сохранялся высоким вплоть до начала роя землетрясений и резко уменьшился с его началом**.

Таким образом, результаты, полученные при измерениях во временной окрестности роя землетрясений в октябре 2001 г., указывают на высокую информативность геоакустических измерений в частотном диапазоне 500 – 1000 Гц - как для углубления представлений о физике геоакустических процессов, так и в плане развития методов мониторинга изменений напряженно – деформированного состояния геосреды, сопровождающих подготовку подобных сейсмических событий. Такой же вывод позволяют сделать данные измерений на Петропавловск – Камчатском геодинамическом полигоне, полученные во временных окрестностях других сильных сейсмических событий 2001 – 2003 гг. Вместе с тем необходимо отметить отсутствие подобных достаточно ярких результатов для измерений в высокочастотной части спектра ГАЭ на интервале 2010 – 2014 гг. Возможно, причина такой ситуации связана с тем, что с сентября 2009 г. для скважинных

геоакустических измерений на Петропавловск – Камчатском геодинамическом полигоне взамен геофонов с датчиками на основе магнитоупругих материалов начали использоваться геофоны с пьезокерамическими датчиками. Сигнал на выходе датчиков на основе магнитоупругих кристаллических ферромагнетиков пропорционален скорости ускорения, т.е. третьей производной от смещения. Соответственно крутизна амплитудно–частотной характеристики (АЧХ) в этом случае составляет 60 дБ на декаду изменения частоты. Сигнал на выходе пьезокерамических датчиков пропорционален ускорению, соответственно крутизна АЧХ в рабочей полосе частот составляет 40 дБ на декаду изменения частоты. Возможно, что указанное различие технических характеристик явилось причиной значительного снижения информативности геоакустических измерений в высокочастотной части спектра ГАЭ.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 15-05-08790).

### **Список литературы**

1. Беляков А.С. Магнитоупругие акустические геофоны для геофизических исследований // Сейсмические приборы. М.: ОИФЗ РАН, 2000. Вып. 33. С. 27 - 45.
2. Гаврилов В.А., Пантелеев И.А., Рябинин Г.В. Физическая основа эффектов электромагнитного воздействия на интенсивность геоакустических процессов. Физика Земли. 2014. № 1. С. 89-103.
3. V.Gavrilov, L. Bogomolov, Yu. Morozova and A. Storcheus. Variations in geoacoustic emissions in a deep borehole and its correlation with seismicity // Annals of Geophysics, Vol. 51, N. 5/6, October/December 2008. P.737-753.
4. Gavrilov V.A., Panteleev I.A., Ryabinin G.V., Morozova Yu.V. Modulating impact of electromagnetic radiation on geoacoustic emission of rocks // Russian journal of Earth sciences. 2013. V. 13. ES1002, doi:10.2205/2013ES000527.
5. Gavrilov V. A. On the Mechanism of Variations in the Intensity of Geoacoustic Emission Caused under the Action of Audio-Frequency Electromagnetic Field // Russian journal of Earth sciences. 2014. V. 14, No. 2, October 2014.
6. G. V. Ryabinin, Yu. S. Polyakov, V. A. Gavrilov and S. F. Timashev. Identification of earthquake precursors in the hydrogeochemical and geoacoustic data for the Kamchatka peninsula by flicker-noise spectroscopy // Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 11, 2011, pp. 541–548.
7. G. V. Ryabinin, V. A. Gavrilov, Yu. S. Polyakov and S. F. Timashev. Cross-Correlation Earthquake Precursors in the Hydrogeochemical and Geoacoustic Signals for the Kamchatka Peninsula // Acta Geophysica, vol. 60, no. 3, 2012, pp. 874-893.