

СКВАЖИННЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ НА КАМЧАТКЕ: ПРОГНОЗ ЮЖНО-КАМЧАТКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ (28.02.2013 г., $M = 6.9$)

*Гаврилов В.А., Бусс Ю.Ю., Власов Ю.А., Денисенко В.П., Морозова Ю.В.,
Полтавцева Е.В., Федористов О.В.*

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

С 2000 г. в Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН активно ведутся работы, целью которых является разработка новых перспективных методов мониторинга напряженно-деформированного состояния геосреды. Акцент в работах делается на комплексные геофизические измерения в достаточно глубоких скважинах, что во многих случаях позволяет получать результаты, недостижимые при измерениях на поверхности. Базовыми являются геоакустические измерения с установкой геофонов и гидрофонов на глубинах от 210 м до 1012 м, а также электромагнитные измерения в СНЧ-диапазоне частот с использованием подземных электрических антенн. На основе результатов указанных измерений делаются предварительные оценки напряженно-деформированного состояния геосреды. Анализируются данные о параметрах откликов геоакустической эмиссии (ГАЭ) на внешнее электромагнитное воздействие и результаты измерений уровня фонового электромагнитного излучения (ЭМИ) в СНЧ-диапазоне частот. Для уточнения оценок напряженно-деформированного состояния геосреды данные скважинных геоакустических и электромагнитных измерений анализируются совместно с данными гидрогеохимических и гидрогеодинамических измерений, проводимых Камчатским филиалом ГС РАН. При выборе видов измерений для непрерывного мониторинга напряженно-деформированного состояния геосреды основной акцент делается на необходимость понимания физической сути процессов, обуславливающих появление аномалий во временных окрестностях сильных землетрясений [5].

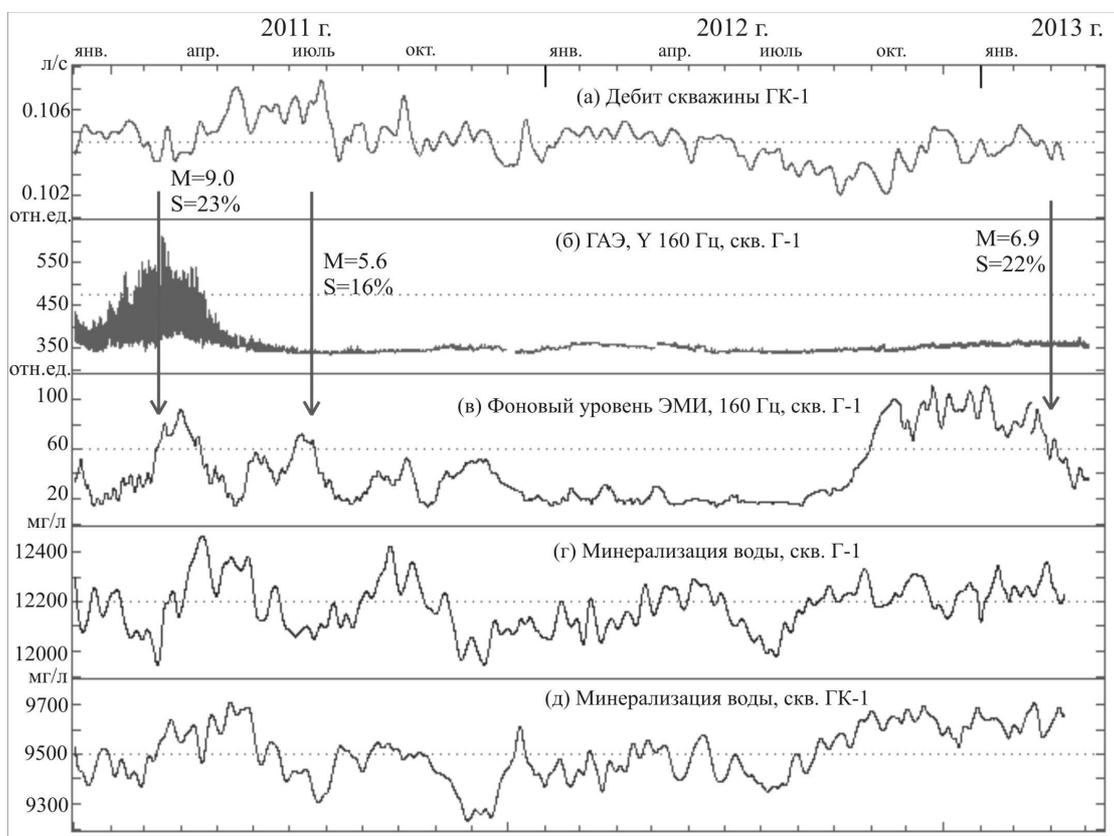


Рис. 1. Результаты комплексных скважинных измерений во временной окрестности сильных землетрясений в 2011-2013гг: (а) – дебит воды скважины ГК-1; (б) – среднеквадратические значения ГАЭ на глубине 1012 м; (в) – уровень фонового ЭМИ; (г) – минерализация воды скважины Г-1; (д) – минерализация воды скважины ГК-1. Интервал осреднения везде – 14 суток.

При рассмотрении результатов комплексных скважинных измерений за период с января 2011 г. по апрель 2013 г. (рис. 1), прежде всего, обращает на себя внимание бухтообразная аномалия уровня фонового ЭМИ, рост которой начался в сентябре 2012 г. (рис. 1, в). К январю 2013 г. уровень фонового уровня ЭМИ в диапазоне частот 147 – 186 Гц вырос примерно в 6.5 раз в сравнении со значениями в сентябре 2012 г. Согласно [5] такой характер изменений указанного параметра свидетельствует о значительном росте сжимающих напряжений в районе скважины Г-1, что согласуется с результатами измерений дебита воды скважины ГК-1 и синхронном увеличении минерализации воды скважин Г-1 и ГК-1 (рис. 2). Как видно из представленных на рис. 1 данных, землетрясение 28 февраля 2013 г. произошло в начале стадии спада напряжений.



Рис. 2. Тенденции изменений параметров геосреды и откликов ГАЭ на электромагнитное воздействие при росте сжимающих напряжений в районе скважины.

Следует отметить, что по результатам многолетних измерений все относительно сильные события глубиной до 150 км, выбранные по критерию $S \geq 16\%$ ($S = L_p/R_h \geq 16\%$, где $L_p = 10^{0.44M-1.29}$ – длина очага землетрясения [4], R_h – гипоцентрального расстояния), сопровождались значительными аномалиями уровня фонового ЭМИ. Так, например, с мегаземлетрясением ($M = 9.0$) в районе Тохоку, Япония, произошедшим 11 марта 2011 г. на эпицентрального расстоянии $R = 2049$ км, связана аномалия фонового ЭМИ порядка 350% (см. рис. 1, в). Во временной окрестности Симуширских землетрясений 2006 – 2007 гг. ($M = 8.3$ и 8.1) величина аномалии ЭМИ составила около 550 % [1]. Аномалия фонового ЭМИ во временной окрестности землетрясения с магнитудой $M = 6.9$, произошедшего 28 февраля 2013 г., явилась наиболее значительной за все время измерений (более 650%).

Результаты измерений уровня фонового ЭМИ (рис. 1, г) отражают изменения удельного сопротивления горных пород в районе скважины. При этом повышение уровня фонового ЭМИ соответствует повышению удельного сопротивления горных пород в районе скважины. Указанный метод мониторинга разработан в ИВиС ДВО РАН. Физическая основа метода связана с высокой чувствительностью удельного сопротивления горных пород к степени их флюидонасыщенности, изменения которой в свою очередь связаны с изменениями действующих в геосреде механических напряжений. При этом наиболее резко зависимость удельной электропроводности от флюидонасыщенности горных пород сказывается при значениях флюидонасыщенности, не

превышающих 4%. Как показано в [2, 3], в таких случаях, как правило, изменение флюидонасыщенности (влажности) горных пород в пределах десятых долей процента приводит к изменениям удельного сопротивления на порядок и выше. Так, например, для базальта уменьшение влажности с 0.49% до 0.26% приводит к увеличению удельного сопротивления с $9.0 \cdot 10^7$ Ом·см до $3.1 \cdot 10^9$ Ом·см. Для алеволита уменьшение влажности с 0.54% до 0.44% приводит к увеличению удельного сопротивления с $1.5 \cdot 10^6$ Ом·см до $8.4 \cdot 10^8$ Ом·см, т.е. примерно в 500 раз. Разработанный авторами метод измерений фонового ЭМИ предполагает использование в качестве зондирующего сигнала непрерывного фонового электромагнитного излучения техногенного и природного происхождения, а в качестве датчиков – подземных вертикальных электрических антенн. В этом случае контроль изменений уровня ЭМИ на выходе подземной электрической антенны позволяет оценивать изменения удельной электропроводности геосреды, связанные с подготовкой землетрясений.

Сравним результаты измерений во временной окрестности указанного землетрясения с результатами измерений во временной окрестности мегаземлетрясения в районе Тохоку. Согласно данным по изменениям дебита скважины ГК-1, уровень сжимающих напряжений с начала января и до середины февраля 2011 г. был достаточно стабилен, а примерно за месяц до мегаземлетрясения произошло уменьшение напряжений. В течение всего указанного интервала имел место стабильный значительный рост амплитуд откликов ГАЭ, минерализация вод скважин Г-1 и ГК-1 постепенно уменьшалась, уровень фонового ЭМИ имел пониженные значения. Такое сочетание характеров изменений воздействующих напряжений, откликов ГАЭ, минерализации воды скважин и уровня фонового ЭМИ отвечает варианту дилатансионного увеличения объема пород (рис. 3) [5].

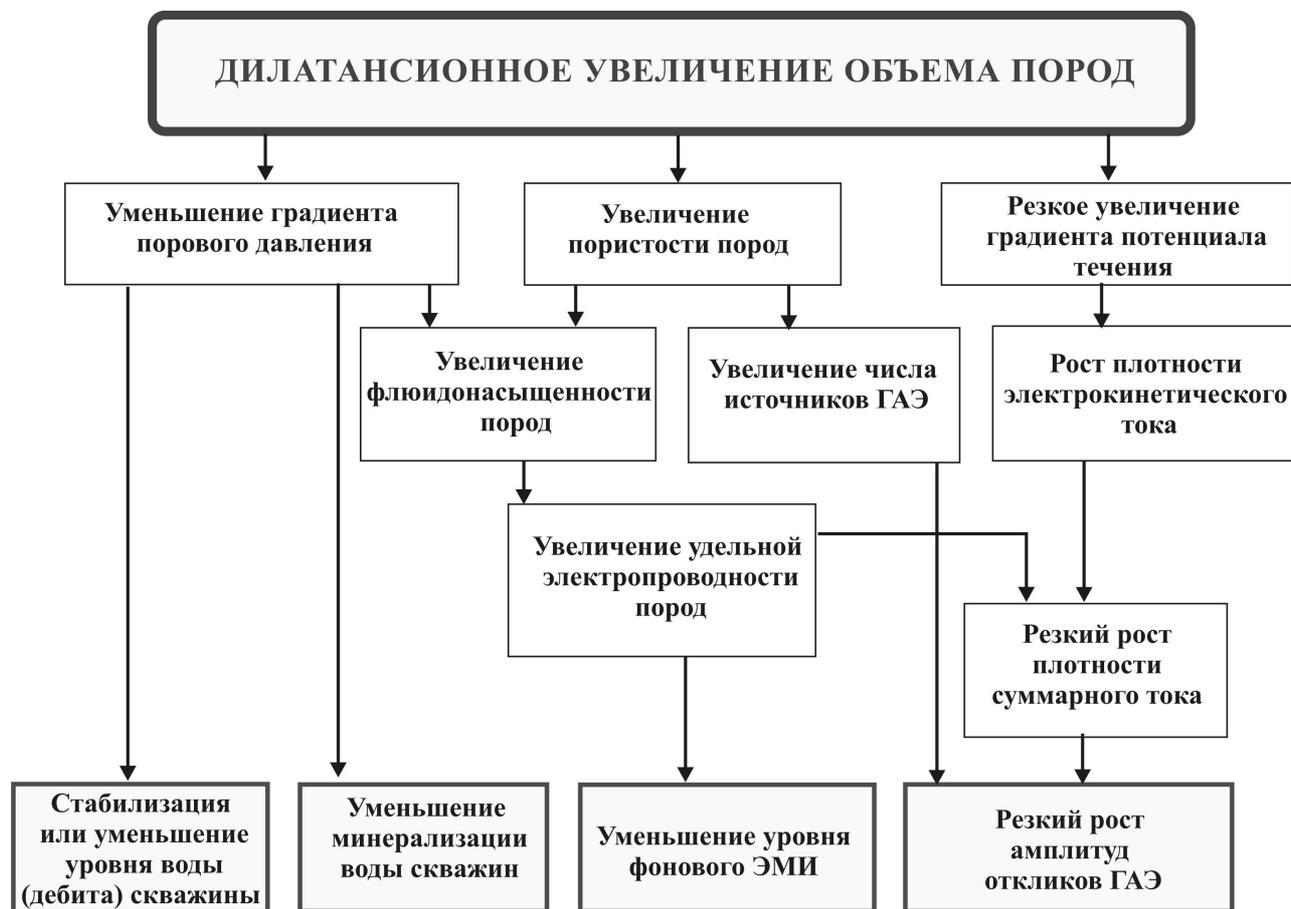


Рис. 3. Тенденции изменений параметров геосреды и откликов ГАЭ на электромагнитное воздействие при дилатансионном увеличении объема пород в районе скважины. (Согласно [5]).

Примерно за 12 суток до мегаземлетрясения начал резко возрастать уровень фонового ЭМИ и увеличиваться минерализация воды скважины ГК-1 (см. рис. 1). Несколько позже (примерно за двое суток до мегаземлетрясения) зарегистрировано начало значительного увеличения минерализации верхнего слоя воды скважины Г-1 (рис. 1,г). На основании этих данных можно сделать вывод, что примерно за две недели до момента мегаземлетрясения в зоне Петропавловск-Камчатского

геодинамического полигона начались активные процессы, связанные с выжиманием флюида из горных пород, что можно интерпретировать как переход напряженно-деформированного состояния геосреды к стадии компакций. Характер результатов измерений на интервале середина марта – август 2011 г. соответствует сценарию эволюции параметров флюидонасыщенной геосреды при возрастании в районе скважины сжимающих напряжений (см. рис. 2). Этому сценарию соответствуют, в том числе: возрастание дебита скважины ГК-1, увеличение минерализации воды скважин Г-1 и ГК-1 при одновременном уменьшении амплитуд откликов ГАЭ и возрастании уровня фонового ЭМИ. К середине апреля 2011 г. уровень фонового ЭМИ вырос примерно на 350% от уровня декабря 2010 г., что свидетельствует об аномально высоком росте на этом интервале удельного сопротивления геосреды вследствие интенсивного выжимания жидкого флюида из зон повышенной трещиноватости. Подтверждением такого вывода является также резкое уменьшение на этом интервале амплитуд откликов ГАЭ вплоть до их полной деградации к июлю 2011 г.

Значительное увеличение уровня фонового ЭМИ в декабре 2012 г. и согласованность этой аномалии с результатами измерений дебита воды скважины ГК-1 и минерализации воды скважин Г-1 и ГК-1 послужили основанием для Заключения о сейсмической опасности для Камчатского края, поданном ведущим научным сотрудником к.т.н. В.А. Гавриловым 27.12.2012 г. в Камчатский филиал Российского экспертного совета (РЭС). В указанном заключении указывалось на **повышенную вероятность** землетрясений магнитуды $M_{LH} \geq 6.5$ в зоне радиусом $R \leq 300$ км от центра г. Петропавловска-Камчатского и $M_{LH} \geq 7.0$ в зоне $R \leq 550$ км с глубиной очагов менее 150 км. Подобные заключения были поданы также 11 и 25 января 2013 г.

В Заключении о сейсмической опасности для Камчатского края, поданном в Камчатский филиал РЭС 04 февраля 2013 г., сообщалось уже о **значительно повышенной вероятности землетрясений магнитуды $M_{LH} \geq 6.5$ в зоне радиусом $R \leq 300$ км от центра г. Петропавловска-Камчатского и $M_{LH} \geq 7.0$ в зоне $R \leq 550$ км с глубиной очагов менее 150 км** на период с 04 февраля 2013 г. по 15 февраля 2013 г. включительно. Произошедшее 28 февраля 2013 г. у южной оконечности Камчатки (эпицентральное расстояние 251 км, глубина 52 км) сильное землетрясение (магнитуда $M_w = 6.9$) полностью подтвердило обоснованность выводов, сделанных в указанном заключении.

Полученные результаты показывают перспективность разработанных авторами статьи новых методов мониторинга напряженно-деформированного состояния геосреды, базирующихся на комплексных скважинных измерениях. Физическая обоснованность указанных методов при наличии непрерывных многолетних рядов измерений, получаемых сетью измерительных пунктов, позволяет достаточно надежно идентифицировать стадии напряженного состояния геосреды в районе скважин и может служить основой для эффективных методов среднесрочного и краткосрочного прогноза землетрясений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 12-05-00670-а), Президиума ДВО РАН (грант 12-III-A-08-167), программы для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации (грант НШ-5583.2012.5).

Список литературы

1. Гаврилов В.А. Динамика микротрещиноватости геосреды в связи с катастрофическими Симуширскими землетрясениями 2006-2007 гг. по данным комплексных скважинных измерений на Камчатке // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. К 40-летию создания М.В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН. Материалы докладов Всероссийской конференции. Т.2.М.: ИФЗ, 2009. С. 295-302.
2. Пархоменко Э.И. Электрические свойства горных пород. М.: Наука, 1965. 164 с.
3. Пархоменко Э.И., Бондаренко А.Т. Влияние одностороннего давления на электрическое сопротивление горных пород // Изв. АН. СССР, серия геофиз. 1960. № 2. С. 326-332.
4. Ризниченко Ю.В. Размеры очага корового землетрясения и сейсмический момент // Исследования по физике землетрясений. М.: Наука, 1976. С. 9-26.
5. V. A. Gavrilo, I. A. Panteleev, G. V. Ryabinin, Yu. V. Morozova Modulating impact of electromagnetic radiation on geoaoustic emission of rocks // Russian journal of Earth sciences. 2013. V. 13. ES1002, doi:10.2205/2013ES000527