

О ВОЗМОЖНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ОТКЛИКОВ ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ НА СУТОЧНЫЕ ВАРИАЦИИ АМПЛИТУДЫ НАПРЯЖЕННОСТИ СЛАБЫХ ЕСТЕСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ СНЧ-ДИАПАЗОНА

Полтавцева Е.В.¹, Децеровский А.В.², Гаврилов В.А.¹

¹ *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский*

² *Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, г. Москва*

Введение

Исследованию влияния слабого электромагнитного излучения (ЭМИ) звукового диапазона частот (первые сотни Гц) на интенсивность геоакустических процессов в реальной геосреде к настоящему времени посвящен достаточно большой ряд публикаций (см. например, [1, 2, 4]). Впервые эффект был выявлен по результатам комплексных скважинных измерений на территории Петропавловск-Камчатского геодинамического полигона, начавшихся в 2000 г. Было показано, что для сейсмически спокойных периодов характерна высокая коррелированность изменений среднеквадратических значений (СКЗ) геоакустической эмиссии (ГАЭ) и напряженности электрической составляющей внешнего ЭМИ, воздействующего на геосреду в районе той же скважины.

В настоящее время непрерывные геоакустические и электромагнитные измерения проводятся на четырех скважинах Петропавловск-Камчатского геодинамического полигона. Наиболее длительные ряды геоакустических измерений получены на скважине Г-1 при измерениях на глубине около 1000 м. Указанная скважина расположена в черте г. Петропавловска-Камчатского на небольшом удалении от различных источников и потребителей промышленной электроэнергии, что определяет наличие суточных вариаций амплитуды напряженности ЭМИ, воздействующего в районе скважины.

Одна из целей современного этапа исследований связана с разработкой методических и технических средств, ориентированных на использование в качестве источника естественного электромагнитного излучения (ЕЭМИ) сверхнизкочастотного (СНЧ) диапазона (0.01 – 1.0 кГц). Уровень регистрируемого ЕЭМИ в СНЧ диапазоне, как правило, имеет четко выраженный суточный ход с максимумом в темное время суток, что связано с улучшением условий распространения СНЧ излучения в это время суток за счет увеличения высоты ионосферы.

Очевидная сложность регистрации откликов ГАЭ на изменения амплитуд напряженности ЕЭМИ обусловлена низкими значениями напряженности естественных электромагнитных полей СНЧ диапазона, не превышающих на поверхности Земли $0.45 \div 1.0$ мВ/м. Однако успешное решение такой задачи может позволить значительно расширить возможности сетей геофизического мониторинга.

В рамках указанных исследований были проанализированы данные измерений на скважинах Р-2 и К-33, расположенных на территории Петропавловск-Камчатского геодинамического полигона.

Результаты геоакустических и электромагнитных измерений на скважине Р-2

Скважина Р-2 расположена в лесном массиве в 20 км на северо-восток от г. Петропавловска-Камчатского. Скважина имеет глубину 1504 м, обсажена до глубины 768 м. Для электромагнитных измерений на скважине использовались подземные электрические антенны двух типов. Геоакустические измерения на скважине проводились на глубинах 260 м и 730 м. В первом случае использовался геофон с пьезокерамическим датчиком типа А1612 с регистрацией вертикальной компоненты ГАЭ. Для измерений на глубине 730 м применялся трехкомпонентный геофон с аналогичными датчиками.

Вследствие значительного удаления скважины Р-2 от различных источников техногенных помех электромагнитное излучение в районе скважины Р-2 определяется, в основном, ЭМИ естественного происхождения. Подтверждением этого могут служить данные, представленные на рис. 1, где график среднего фонового уровня потока атмосфериков [3], пришедших со всех направлений в пункт регистрации, расположенный примерно в 50 км от скважины Р-2, приведен в сравнении с обобщенным графиком суточных вариаций среднеквадратических значений ЕЭМИ для летнего времени в зоне скважины Р-2.

Рис. 1. Обобщенный график суточных вариаций среднеквадратических значений ЕЭМИ в зоне скважины Р-2 для летнего периода в сравнении с графиком среднего фонового уровня потока атмосфериков.

Из приводимых на рис. 1 данных можно сделать вывод о высокой степени коррелированности соответствующих рядов измерений, что указывает на то, что ЭМИ в зоне скважины Р-2 определяется, в основном, атмосферно-электрическими разрядами. Согласно полученным оценкам максимальное значение спектральной плотности ЕЭМИ для темного времени суток при измерениях ГАЭ в скважине Р-2 на глубине 260 м можно оценить величиной порядка $40.0 \text{ мкВ/м}\cdot\text{Гц}^{0.5}$, что примерно на два порядка ниже расчетных значений для ЭМИ техногенного происхождения в зоне скважины Г-1 на глубине 1000 м.

В ходе работы были проанализированы ряды данных одновременных геоакустических и электромагнитных измерений на скважине Р-2, полученные на интервале 2005 - 2015 гг. Для исключения влияния температуры и других сторонних факторов, имеющих суточную периодичность, суточные вариации в рядах ГАЭ и ЕЭМИ были исследованы детально с применением программных средств пакета WinABD. Основной целью анализа рядов являлось выявление связи суточных вариаций ГАЭ с воздействием ЕЭМИ. Пример результатов одновременных геоакустических и электромагнитных измерений в скважине Р-2 приведен на рис. 2. Глубина установки геофона составляла 260 м.

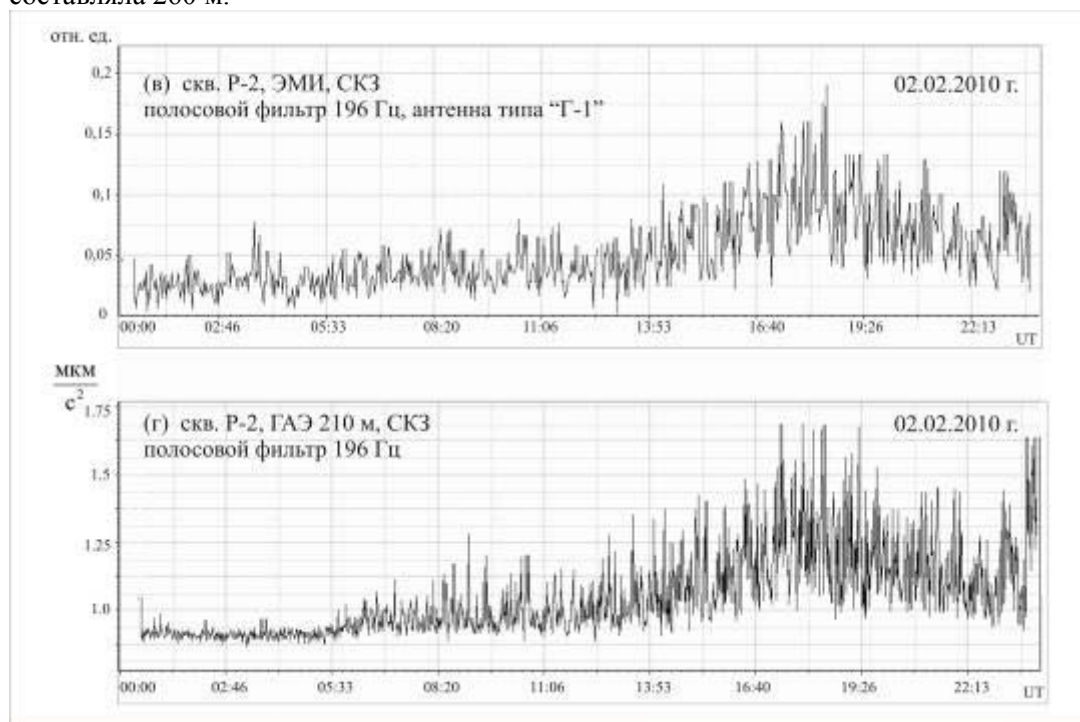


Рис. 2. Пример суточных вариаций ЕЭМИ (а) и ГАЭ (б) по результатам измерений на скважине Р-2 на глубине 260 м. Интервал осреднения 5 с.

Для оценки амплитуд суточных вариаций из рядов ГАЭ и ЕЭМИ с применением метода наложения эпох в 10-суточном скользящем окне были выделены вариации с периодом строго 24.00 ч. Указанная длина окна достаточна, чтобы выделить необходимый суточный период из исходных рядов, и при этом позволяет отследить изменения амплитуды полученной в результате выделения суточной вариации во времени. Затем, для выделенных таким образом суточных вариаций ГАЭ и ЕЭМИ, в 10-суточном скользящем окне рассчитывался коэффициент корреляции. Для двухмесячного интервала измерений в 2010 г. коэффициент корреляции между рядами данных ГАЭ и ЕЭМИ составил величину от 0.6 до 0.8. Кроме этого, для выделенных из рядов ГАЭ и ЕЭМИ вариаций с периодом 24.00 ч. были проанализированы изменения фазы сигнала. Поскольку для периодических колебаний произвольной формы понятие фазы малоприменимо, изменения фазы в таких случаях обычно отслеживаются для аппроксимирующих синусоид с погрешностью, соответствующей погрешности аппроксимации. В этой связи выделенные вариации (период 24.00 ч.) были аппроксимированы в 10-суточном скользящем окне периодической синусоидальной функцией с тем же периодом. В качестве метода анализа изменений фазы был выбран метод акрофаз минимума. Акрофазы минимума представляют собой смещения минимального значения ряда от начала периода, составляющего в данном случае 24 ч. Таким образом, анализируя ряд разности акрофаз минимума для рядов ГАЭ и ЕЭМИ (точнее, для их аппроксимирующих синусоид), можно видеть, насколько велико рассогласование между временем минимума обоих рядов на протяжении периода наблюдений. Для рядов данных ГАЭ и ЕЭМИ практически на всем протяжении интервала измерений в 2010 г. разность акрофаз минимума в среднем составила 50-80 мин., что сопоставимо с погрешностью расчета фазы.

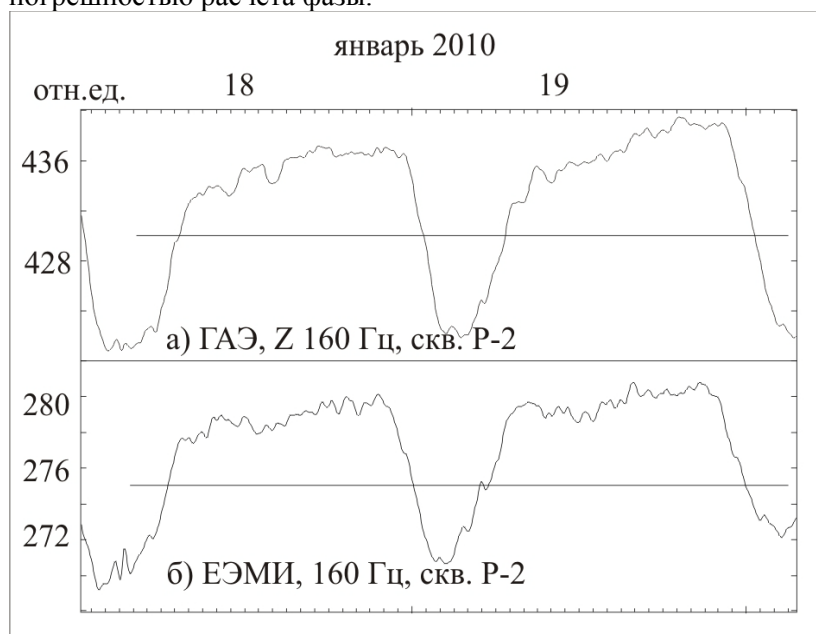


Рис. 3. Пример суточных вариаций ГАЭ и ЕЭМИ по результатам измерений на скважине Р-2 в 2010 г., интервал осреднения 10 мин.

На рис. 3 показаны участки исходных рядов данных ГАЭ и ЕЭМИ для периода наблюдений 2010 г., для которых была подтверждена связь откликов ГАЭ с воздействием ЕЭМИ. Представленные на рис. 3 данные показывают высокую коррелированность суточных вариаций рядов ГАЭ и ЕЭМИ.

Результаты геоакустических и электромагнитных измерений на скважине К-33

Электромагнитная обстановка в районе скважины К-33, расположенной в лесном массиве в 35 км от г. Елизово, определяется сочетанием естественного и техногенного электромагнитных излучений [2]. Спектр ЭМИ для скважины К-33 четко разделяется на две составляющие: фоновую составляющую естественного происхождения, спектральная плотность которой незначительно меняется во всем рабочем частотном диапазоне, и составляющую техногенного происхождения с дискретными компонентами высокой амплитуды. Электромагнитное излучение техногенного происхождения для скважины К-33 в полосе до 350 Гц (компонента 50 Гц и ее гармоники) связано с ЛЭП 110 кВ, расположенной в 300 м от скважины. Геоакустические измерения на скважине К-33 проводились с применением гидрофона типа Г-61, установленного на глубине 210 м. Для электромагнитных измерений использовалась подземная электрическая антенна.

Спектр ГАЭ для скважины К-33 в целом соответствует спектру ЭМИ. Однако, из-за небольшой глубины установки гидрофона спектр ГАЭ в своей низкочастотной части осложнен помехами, связанными, в основном, с движением транспорта по дороге, расположенной в 350 м от скважины.

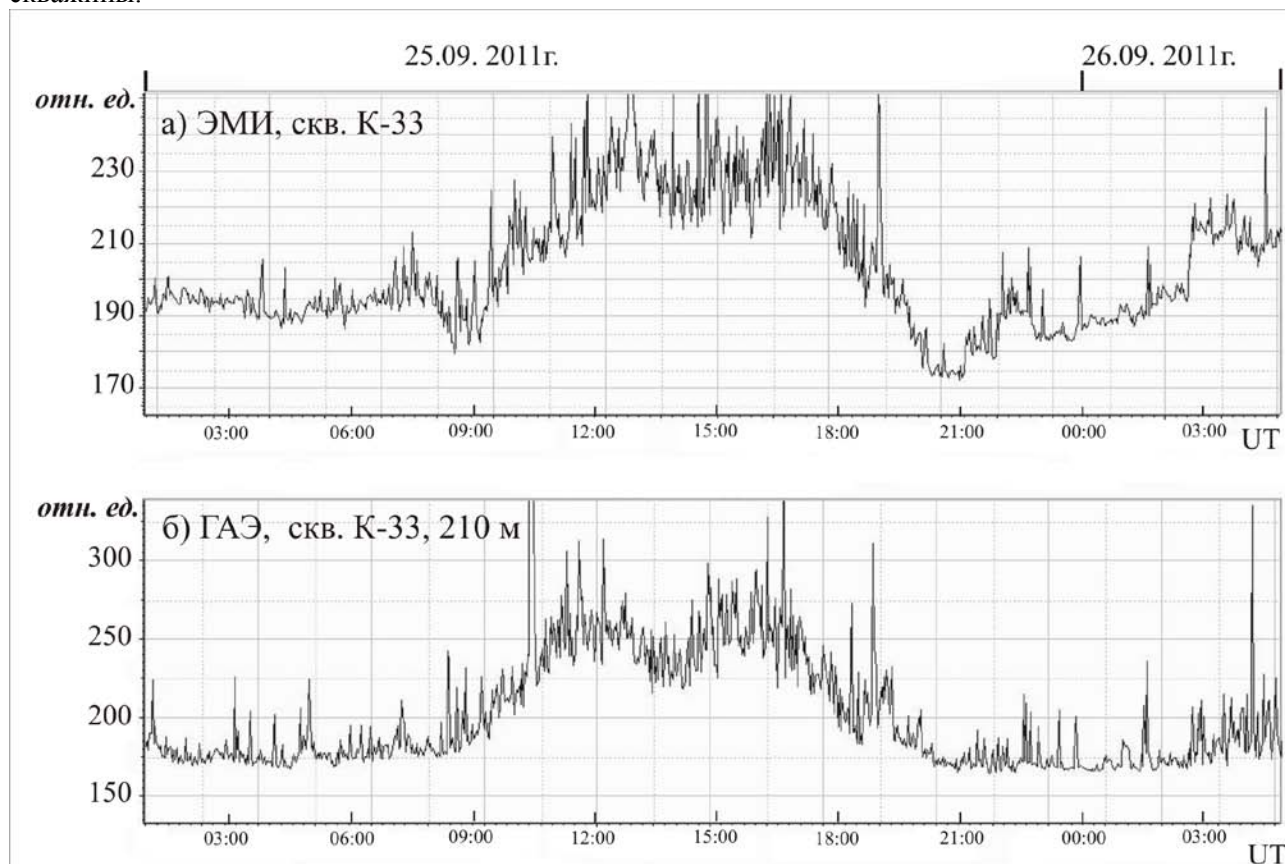


Рис. 4. Графики суточных вариаций уровней ЭМИ и ГАЭ, характерные для скважины К-33: а) вариации СКЗ ЭМИ после фильтрации полосовым фильтром с центральной частотой 700 Гц; б) вариации СКЗ ГАЭ после фильтрации полосовым фильтром с центральной частотой 700 Гц. Согласно [4].

На рис. 4 представлены графики СКЗ ЭМИ и ГАЭ, полученные после цифровой фильтрации исходных данных широкополосных сигналов ЭМИ и ГАЭ полосовыми фильтрами с центральной частотой 700 Гц. Как показал анализ спектров и суточных вариаций, ЭМИ в диапазоне 700 Гц в зоне скважины К-33 в значительной степени связано с источниками естественного происхождения. В том числе, такой вывод можно сделать из сопоставления данных, представленных на рис. 5а, с графиком среднего фонового уровня потока атмосфериков (см. рис. 2). Наиболее убедительные результаты, указывающие на возможность стабильной регистрации откликов ГАЭ на изменения амплитуды напряженности ЕЭМИ, были получены на скважине К-33 в периоды профилактического отключения ЛЭП 110 кВ.

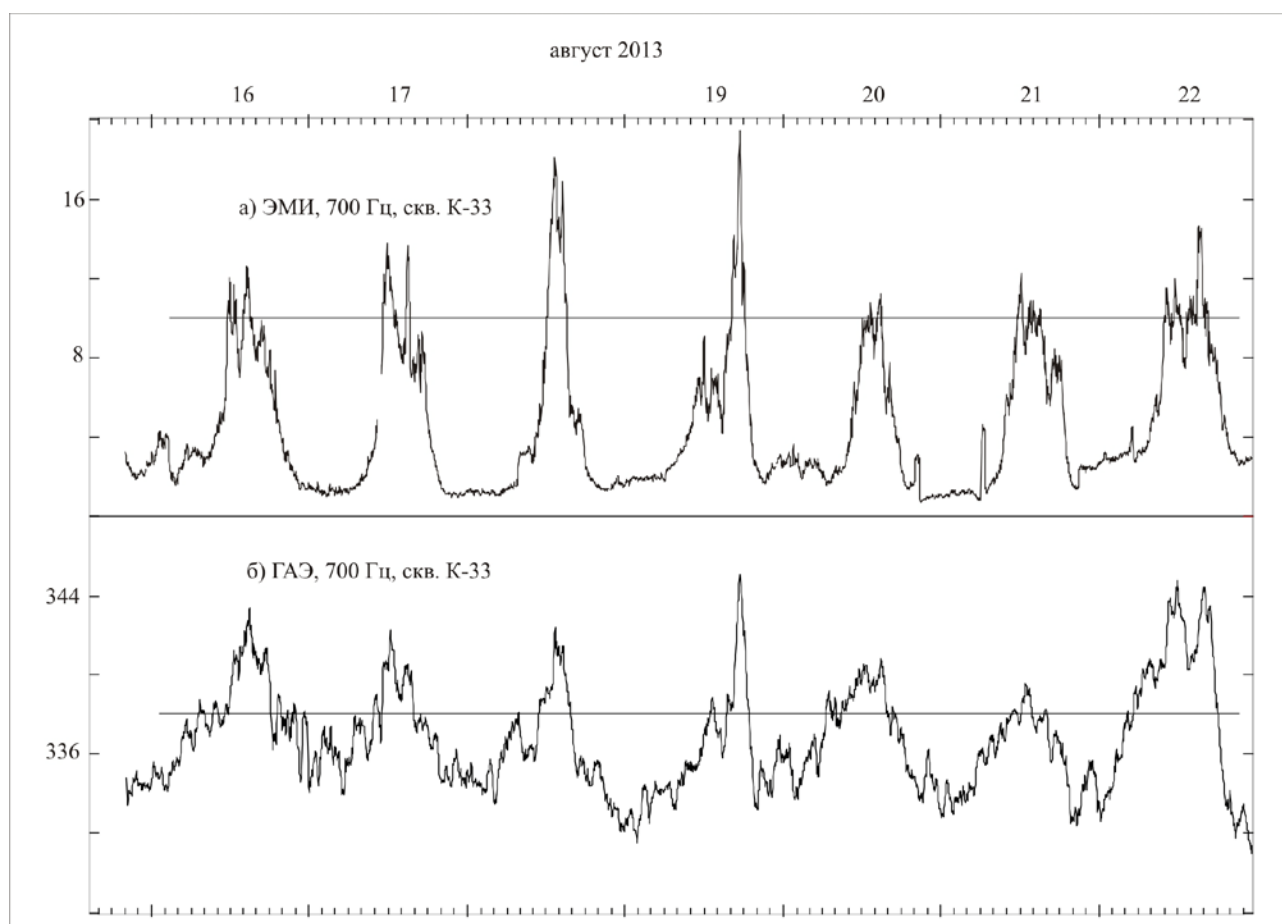


Рис. 5. Суточные вариации ЭМИ и ГАЭ, характерные для скважины К-33 в период отключения ЛЭП 110 кВ.

Пример таких результатов с использованием полосового фильтра с центральной частотой 700 Гц, представлен на рис. 5.

Выводы

Данные электромагнитных и геоакустических измерений, полученные на скважинах Р-2 и К-33, показывают, что в случае размещения геофонов в скважинах возможна стабильная регистрация откликов ГАЭ на воздействие слабых электромагнитных полей естественного происхождения СНЧ-диапазона частот. Такой результат указывает на принципиальную возможность использования ЕЭМИ в качестве источников электромагнитного излучения в системах геоакустического мониторинга напряженно-деформированного состояния геосреды.

Список литературы

1. Гаврилов В.А., Морозова Ю.В., Сторчеус А.В. Вариации уровня геоакустической эмиссии в глубокой скважине Г-1 (Камчатка) и их связь с сейсмической активностью // Вулканология и сейсмология. 2006. № 1. С. 52-67.
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. Михайлов Ю.М., Дружин Г.И., Михайлова Г.А., Капустина О.В. Динамика грозовой активности во время тропических циклонов // Геомагнетизм и аэрономия. Т.46. №6. 2006. С. 825 - 838.
4. Gavrilov V.A., Panteleev I.A., Ryabinin G.V., Morozova Yu.V. Modulating impact of electromagnetic radiation on geoaoustic emission of rocks // Russian journal of Earth sciences. 2013. V. 13. No. 1. ES1002. doi:10.2205/2013ES000527.