

ВАРИАЦИИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ДИАПАЗОНЕ СЧЧ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ С ПОДЗЕМНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АНТЕННОЙ
ELF-FREQUENCY RANGE NATURAL ELECTROMAGNETIC EMISSION VARIATIONS
ACCORDING TO MEASUREMENTS WITH UNDERGROUND ELECTRIC ANTENNA

В.А. Гаврилов, Е.В. Полтавцева

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, vgavr@ksenet.ru

Experience of the 30 – 1200 Hz range continuous electromagnetic measurements which are spent since 2003 in the territory of the Petropavlovsk-Kamchatskii geodynamic area with use of the underground electric antenna of an original design is generalized. Antenna basic element is the casing tube of a deep borehole. Data by a technique and technics of measurements, and also the basic results of researches in comparison to results of borehole geoacoustic measurements, and monitoring of water density in the boreholes etc, are cited. The expediency of systems with underground electric antennas application for the purposes of the geoenvironment stress-strained condition monitoring and the short-term prediction of earthquakes shows.

Измерения естественного электромагнитного излучения (ЕЭМИ) в сверхнизкочастотном (СНЧ) диапазоне были начаты Институтом вулканологии и сейсмологии ДВО РАН в мае 2003 г. на пункте Г-1, расположенном в районе г. Петропавловска-Камчатского. На начальном этапе получаемые при этом данные использовались для исследований физических причин суточных вариаций уровня геоакустической эмиссии (ГАЭ), измерения которой на глубине около 1000 м проводились на том же пункте. На последующем этапе измерения ЕЭМИ стали использоваться и как один из видов комплексного геофизического мониторинга состояния геосреды. Основной объем данных, полученных к настоящему времени, относится к звуковому диапазону частот (25 – 1500 Гц по уровню 0.5), измерения в котором с мая 2003 г. проводятся практически непрерывно. При измерениях используется подземная электрическая антенна оригинальной конструкции.

Синхронные геоакустические и электромагнитные измерения на пункте Г-1 показали, что в интервалах времени, соответствующих спокойной сейсмической обстановке в регионе, степень коррелированности временных рядов ГАЭ и ЕЭМИ в диапазоне 25 – 180 Гц очень высока. Значения взаимной корреляционной функции на таких интервалах составляют $\rho=0,91\div 0,99$. Перед достаточно сильными близкими сейсмическими событиями значения ρ уменьшаются до $0,80\div 0,001$ (рис. 1) [1]. Как показали исследования, указанная закономерность характерна для всех землетрясений с магнитудами $M_{LN}\geq 5.0$ в зоне радиусом $R\leq 300$ км от пункта наблюдений и с магнитудами $M_{LN}\geq 5.5$ в зоне $R\leq 550$ км. Данные, полученные за время синхронных геоакустических и электромагнитных измерений, позволили выдвинуть гипотезу о физических причинах и механизме суточных вариаций ГАЭ, как следствия модулирующего воздействия ЕЭМИ на интенсивность геоакустических процессов в горных породах в условиях их естественного залегания. По результатам последних исследований получены данные, показывающие, что указанный эффект лежит также и в основе физического механизма суточной периодичности слабых землетрясений, имеющей глобальный характер.

Кроме этого, полученные результаты легли в основу разработки принципиально нового метода мониторинга состояния геосреды, базирующегося на анализе текущих корреляций сигналов ГАЭ и ЕЭМИ. При этом суточные вариации уровня ГАЭ рассматриваются как отклик на изменения уровня вертикальной составляющей ЕЭМИ. Предполагается, что разрабатываемый метод позволит контролировать в масштабах региона появление возможных очагов землетрясений на последних стадиях их развития. Одной из предпосылок использования в этом случае сигналов ЕЭМИ в качестве зондирующих сигналов явилась высокая стабильность суточных колебаний уровня ЕЭМИ диапазона СНЧ. Это хорошо видно из представленных на рис. 2 графиков суточных вариаций уровня ЕЭМИ на пункте Г-1 для различных времен года, полученных методом наложения эпох за трехлетний период измерений.

Полученные к настоящему времени результаты показывают целесообразность и перспективность использования измерений ЕЭМИ звукового диапазона частот в составе систем комплексного геофизического мониторинга и прогноза землетрясений. В рамках этого направления работ в настоящее время основной акцент делается на выявление закономерностей и

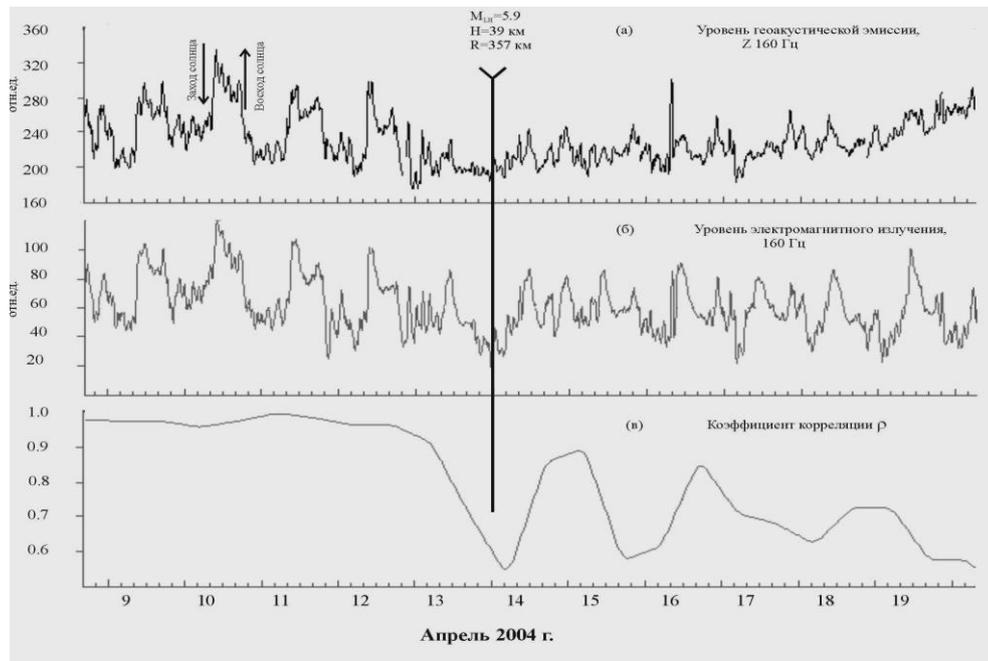


Рис. 1. Пример нарушения суточного хода ГАЭ перед землетрясением (а) в сопоставлении с результатами электромагнитных измерений (б). M_{LH} – магнитуда землетрясения, H – глубина очага, R – эпицентрального расстояние.

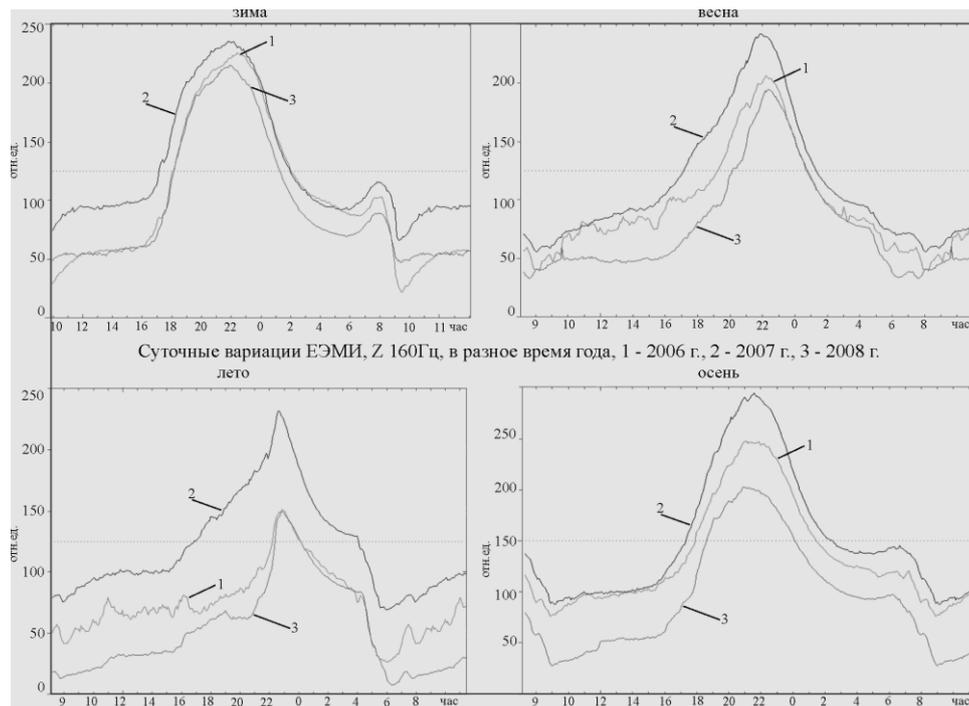


Рис. 2. Суточные вариации ЕЭМИ для различных сезонов: 1 – 2006 г., 2 – 2007 г., 3 – 2008 г. По оси абсцисс – местное время (+11 ч в сравнении с Гринвичским временем).

исследование физических причин изменений фоновых уровней ЕЭМИ (рис. 3). При достаточно низких уровнях собственных шумов измерительных трактов изменения фонового уровня фактически отражают изменения уровня ЕЭМИ литосферного происхождения. Выделение фоновых уровней ЕЭМИ и ГАЭ проводится путем двухэтапной программной обработки соответствующих временных рядов. На первом этапе производится вычисление минимальных значений рядов в скользящем окне шириной несколько суток, что позволяет сгладить суточные вариации уровней ЕЭМИ и ГАЭ, связанные с источниками ЕЭМИ атмосферного происхождения.

Рассчитанные таким образом ряды затем проходят процедуру дополнительного сглаживания в скользящем окне шириной около 16 сут. В качестве примера на рис. 4 (а, б, в, г) представлены

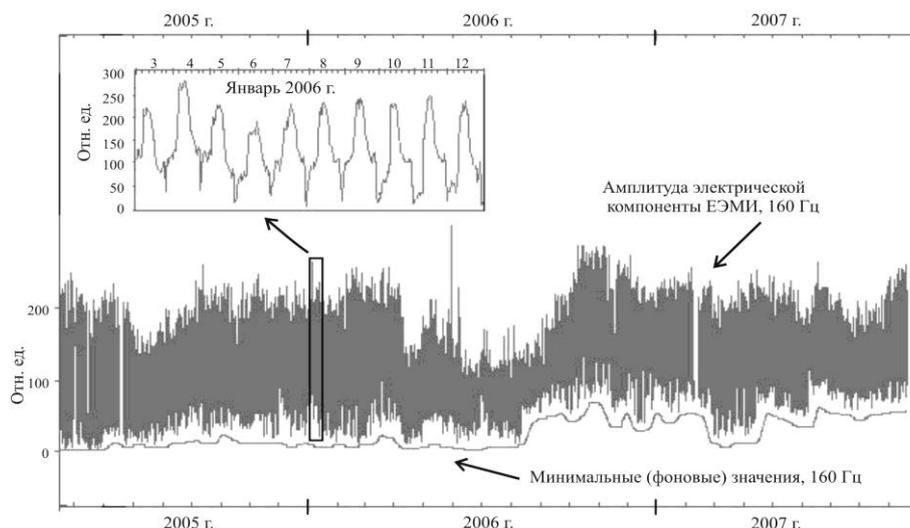


Рис. 3. Иллюстрация к методике выделения фонового уровня ЕЭМИ.

результаты измерений фонового уровня вертикальной компоненты ЕЭМИ на пункте Г-1 в совокупности с данными измерений ГАЭ и плотности воды в двух скважинах. На рис. 4д представлены данные по изменениям сейсмической активности в зоне радиуса $R = 100$ км от

скважины Г-1 по критерию $S = \frac{L_p}{R_h}$, где $L_p = 10^{0,44M - 1,29}$ – длина очага землетрясения [3]; R_h –

гипоцентральное расстояние.

Как следует из приводимых данных, на временном интервале август 2006 г.- февраль 2007 г. было зарегистрировано аномальное (более 30 дБ) бухтообразное изменение фонового уровня ЕЭМИ, по времени приуроченное к Симуширским землетрясениям. В данном случае анализ данных ЕЭМИ совместно с данными по другим видам измерений позволил обоснованно интерпретировать полученные результаты и выделить несколько стадий процесса подготовки и реализации Симуширских землетрясений [2]. На рис. 4 римскими цифрами обозначены предполагаемые границы временных стадий развития процессов в геосреде: I - стадия нарастания напряжений и деформаций в земной коре; II - стадия дилатансии, резкого увеличения общего количества микротрещин; III – стадия перестройки системы трещин с увеличением их средних размеров и уменьшением объемной концентрации трещин; IV – стадия возвращения параметров геосреды к своим фоновым значениям. Необходимо подчеркнуть, что в значительной мере представленные результаты обусловлены применением для электромагнитных измерений подземной электрической антенны. Из теоретических оценок и результатов измерений в реальных условиях [4] следует, что системы с подземными антеннами имеют значительные преимущества в сравнении с системами, использующими антенны, расположенные над земной поверхностью. Выход электромагнитного излучения литосферного происхождения через поверхность раздела “земля-воздух” крайне затруднен, поскольку вектор Умова-Пойнтинга $\vec{P} = [\vec{E} * \vec{H}]$, где \vec{E}, \vec{H} - напряженности электрического и магнитного полей соответственно, из-за значительно более высокой в сравнении с воздухом проводимости земли будет всегда направлен в сторону земной поверхности. Так, например, задав для *геосреды* $\epsilon = 20$ (влажная земля) и проводимость $\sigma = \frac{1}{500}$ См/м, $\mu = \mu_0 = 12,566 * 10^{-7}$, а для *воздушной среды*: $\epsilon_0 = 8,85 * 10^{-12}$; $\mu = \mu_0 = 12,566 * 10^{-7}$, получим

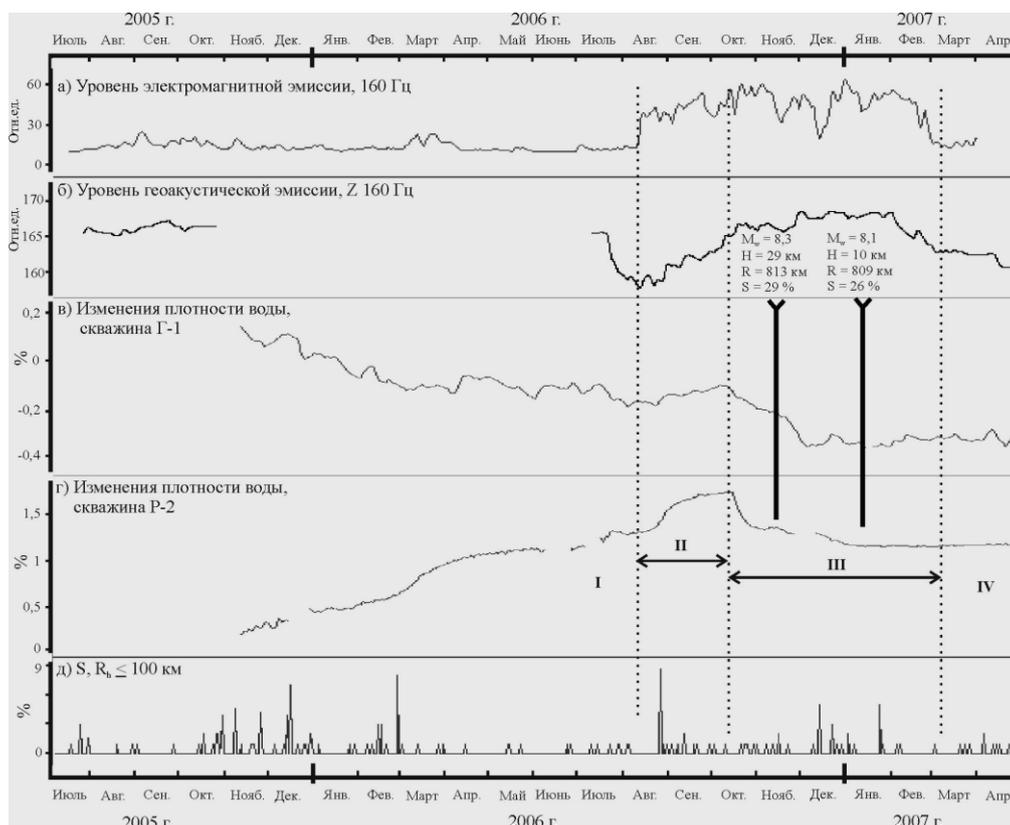


Рис. 4. Данные геофизического мониторинга в период подготовки и реализации сильнейших Симуширских землетрясений.

комплексный коэффициент преломления $\dot{T}_E = \frac{2Z_{cp}}{Z_{cp} + Z_0} = 0.001 + i * 0.001$, где Z_{cp} -

характеристическое сопротивление геосреды; Z_0 - характеристическое сопротивление вакуума, $Z_0 = 376.991 \text{ Ом}$. При этом комплексная амплитуда преломленной (проходящей) волны $\dot{E}_{\text{прелом}}(\mathbf{r}) = \dot{T}_E * \dot{E}(\mathbf{r})$ даже вблизи границы раздела в воздухе будет пренебрежимо мала в сравнении с амплитудой исходной волны. Ситуация будет лучше только на выходах скальных коренных пород с очень низким значением проводимости.

Основной вывод, который, по мнению авторов, можно сделать по результатам многолетних исследований ЕЭМИ, заключается в целесообразности дальнейшего развития и значительно более широкого использования в практике геофизических наблюдений систем измерений ЕЭМИ звукового диапазона частот с подземными электрическими антеннами.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 09-05-98543-р_восток_a) и ДВО РАН (проекты 09-III-A-08-420, 10- III-B-08-213).

Литература

1. Гаврилов В.А. Физические причины суточных вариаций уровня геоакустической эмиссии // ДАН, 2007. Т.414, №3. С.389-392.
2. В.А.Гаврилов. 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 конференции. М.: Изд-во ИФЗ РАН. 2009. Т.2. С.295-302.
3. Ризниченко Ю.В. Размеры очага корового землетрясения и сейсмический момент // Исследования по физике очага землетрясений. М.: Наука, 1976. С. 9–27.
4. Гаврилов В.А., Дружин Г.И., Полтавцева Е.В. Результаты одновременных измерений естественных электромагнитных СНЧ-ОНЧ излучений с использованием подземной и наземной антенн // Солнечно-земные связи и предвестники землетрясений. Сб. докл. IV международной конференции. Петропавловск-Камчатский, 2007. Доп.том. С. 14-19.