

УДК 534.23:551.594.11

**СТАТИСТИКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРЕДСЕЙСМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ В
ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ И АТМОСФЕРНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ
ПОЛЕ**

М. А. Мищенко

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
684034, Камчатский край, Елизовский район, с. Паратунка, ул. Мирная, 7

E-mail: micle@ikir.ru

Представлена статистика появления аномальных возмущений высокочастотной геоакустической эмиссии приповерхностных осадочных пород и атмосферного электрического поля у поверхности земли перед землетрясениями. Для анализа использованы длительный непрерывный ряд измерений геоакустической эмиссии в период 2003–2012 гг. с пункта наблюдений «Микижа» и данные измерений атмосферного электрического поля, полученные в летне-осенние периоды 2006–2008 гг. в пункте «Микижа» и 2009–2012 гг. в пункте «Карымшина». Проведено сопоставление аномальных возмущений эмиссии и поля с каталогом землетрясений Камчатского филиала Геофизической службы РАН.

Ключевые слова: высокочастотная геоакустическая эмиссия, атмосферное электрическое поле, предсейсмические аномальные возмущения.

© Мищенко М. А., 2016

MSC 86A15

**STATISTICS OF OCCURRENCE OF PRE-SEISMIC ANOMALIES IN
GEOACOUSTIC EMISSION AND IN ATMOSPHERIC FIELD**

M. A. Mishchenko

Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS, 684034,
684034, Kamchatka region, Elizovskiy district, Paratunka, Mirnaya str., 7, Russia

E-mail: micle@ikir.ru

Statistics of occurrence of anomalous disturbances in high-frequency geoaoustic emission of the near surface sedimentary rocks and in atmospheric electric field by the ground surface before earthquakes is presented. Long-term continuous series of measurements of geoaoustic emission for the period of 2003-2012 at «Mikizha» site and the data of measurements of atmospheric electric field obtained for the summer-autumn periods of 2006-2008 at «Mikizha» site and for 2009-2012 at «Karymshina» site were used in the analysis. Anomalous disturbances of the emission and of the field were compared with the earthquake catalogue of Kamchatka Branch of Geophysical Service RAS.

Key words: high frequency geoaoustic emission, atmospheric electric field, pre-seismic anomalous perturbation.

© Mishchenko M. A., 2016

Введение

На Камчатке в условиях активно протекающего сейсмотектонического процесса проводятся измерения геоакустической эмиссии приповерхностных осадочных пород (ГАЭ) и атмосферного электрического поля у поверхности земли (АЭП). Совместные геоакустические и атмосферно-электрические измерения [1] свидетельствуют о том, что аномальные возмущения этих геофизических полей возникают в сейсмически спокойные периоды и на заключительной стадии подготовки землетрясений, и связаны с динамикой деформационного процесса приповерхностных осадочных пород. Поэтому представляет интерес рассмотреть статистику появления таких возмущений перед землетрясениями, как в геоакустической эмиссии, так и в атмосферном электрическом поле.

Методы исследования

Для анализа предсейсмических возмущений использован длительный непрерывный ряд геоакустических измерений в период с 2003 по 2012 гг. с пункта «Микижа» и данные измерений АЭП, произведенные в летне-осенние периоды 2005-2008 гг. в пункте «Микижа» и 2009-2012 гг. в пункте «Карымшина». Аномальные возмущения геоакустической эмиссии и атмосферного электрического поля сопоставлялись с региональным каталогом землетрясений Камчатского филиала Геофизической службы РАН (<http://www.emsd.ru/ts/>). Рассматривались только возмущения ГАЭ и АЭП, зарегистрированные в условиях спокойной погоды (слабоменяющееся давление, отсутствие дождя и ветра больше 6 м/с).

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ данных геоакустических наблюдений в сейсмоактивных регионах показал, что перед сильными землетрясениями иногда регистрируются аномальные возмущения геоакустической эмиссии, которые проявляются в виде резкого повышения акустического давления в килогерцовом диапазоне частот P_s [2, 3]. Пример такого возмущения геоакустической эмиссии представлен на рис. 1а. За период 2003–2007 гг. было выявлено 266 таких возмущений ГАЭ. На основе их анализа предложены следующие критерии выделения возмущений: амплитуда P_s , усредненная в интервале 5 мин, должна превышать значение фонового уровня ГАЭ более чем в 4 раза с длительностью не менее 15 мин. В качестве фонового уровня ГАЭ принималось среднее значение амплитуды P_s за наиболее спокойный суточный период в ближайшие десять дней до возмущения [4].

Анализ данных атмосферно-электрических наблюдений в сейсмоактивных регионах показал, что перед сильными землетрясениями иногда регистрируются аномальные возмущения электрического поля. В качестве таких возмущений обычно рассматриваются бухтообразные уменьшения градиента потенциала V' поля вплоть до изменения знака и его последующие восстановление через некоторое время примерно до прежнего уровня [5, 6, 7]. Пример такого возмущения АЭП представлен на рис. 1б.

С учетом того, что атмосферно-электрические измерения проводились нами в летне-осенние периоды и продолжались только около трех месяцев в году, данных

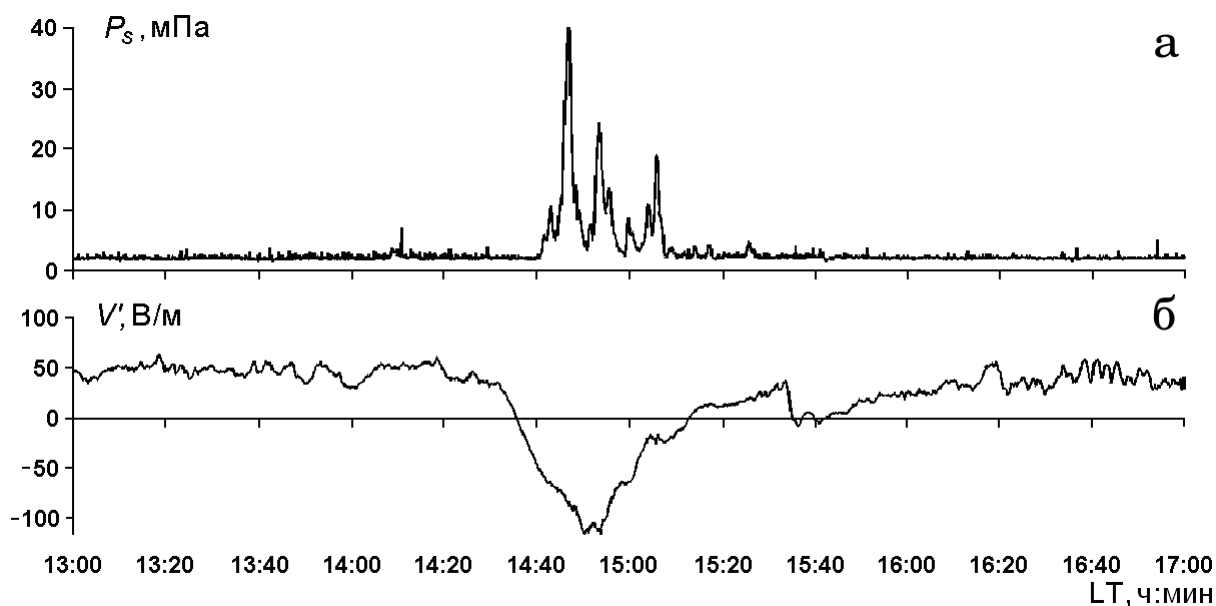


Рис. 1. Пример одновременных возмущений акустического давления P_s в килогерцовом диапазоне частот (а) и градиента потенциала V' электрического поля (б) в эксперименте 22 августа 2006 г.

по предсейсмическим возмущениям АЭП получено недостаточно для определения критериев их выделения. Поэтому критерии подбирались на основе анализа предсейсмических характеристик АЭП на Камчатке, выполненного в работе [7] за непрерывный период 1997–2002 гг. Минимальная длительность возмущений АЭП составляет 15–20 мин, а минимальная амплитуда бухтообразных понижений градиента потенциала V' составляет -100 В/м.

Геоакустические и атмосферно-электрические возмущения возникают почти одновременно и соизмеримы по продолжительности. Поэтому при дальнейшем анализе, так же как и для возмущений ГАЭ, выделялись предсейсмические возмущения АЭП длительностью более 15 мин и минимальным значением понижения градиента потенциала V' поля, равным -100 В/м, что соответствует результатам, полученным в [7].

С учетом критериев, сформулированных для выделения возмущений ГАЭ, был проанализирован ряд геоакустических данных с пункта наблюдений «Микижа», зарегистрированных в период 2003–2012 гг. Выявлены аномальные возмущения геоакустической эмиссии, зарегистрированные в условиях спокойной погоды. Из регионального сейсмического каталога выбраны две группы землетрясений с энергетическими классами $11.0 < K_s \leq 12.0$, $K_s > 12.0$ и эпицентрными расстояниями до пункта наблюдений $D \leq 240$, $D \leq 350$ км соответственно. Такие расстояния выбраны в соответствии с данными анализа возмущений ГАЭ [3] и скорректированы с учетом модельных исследований [8]. По результатам моделирования [4] для поиска возмущений ГАЭ выбран временной интервал от 2.5 суток до 5 часов перед землетрясениями. Проведено сопоставление выбранных землетрясений с аномальными возмущениями ГАЭ. Рассмотрено наличие возмущений ГАЭ перед 107 землетрясениями. Полученные результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты сопоставления возмущений ГАЭ и землетрясений

Энергетический класс	Землетрясения					
	$11.0 < K_s \leq 12.0$			$K_s > 12.0$		
Год	Всего	Предваряются возмущениями ГАЭ	%	Всего	Предваряются возмущениями ГАЭ	%
2003	7	5	71.4	3	3	100
2004	4	2	50	6	6	100
2005	1	0	0	2	2	100
2006	7	5	71.4	4	3	75
2007	6	5	83.3	3	3	100
2008	5	4	80	6	3	50
2009	8	6	75	1	0	0
2010	5	1	20	7	3	42.9
2011	17	9	52.9	3	3	100
2012	9	5	55.6	3	2	66.7
Всего	69	42	60.9	38	28	73.7

Согласно табл. 1 возмущения ГАЭ наблюдались перед 42 из 69 землетрясений с характеристиками $11.0 < K_s \leq 12.0$ и $D \leq 240$ км и перед 28 из 38 с $K_s > 12.0$ и $D \leq 350$ км.

Результаты сопоставления возмущений геоакустической эмиссии и землетрясений с энергетическим классом $K_s > 9.0$ показали, что 36.8% возмущений ГАЭ предшествуют землетрясениям. Таким образом, процент ложных тревог составляет 63.2%.

С учетом критериев, сформулированных для выделения возмущений АЭП, проанализирован ряд атмосферно-электрических данных за периоды летне-осенних измерений в пункте «Микижа» (2006, 2007 и 2008 гг.) и в пункте «Карымшина» (2009, 2011 и 2012 гг.). Выявлены аномальные возмущения атмосферного электрического поля у поверхности земли, зарегистрированные в условиях описанной выше спокойной погоды.

Как и для ГАЭ, из регионального сейсмического каталога были выбраны две группы землетрясений с энергетическими классами $11.0 < K_s \leq 12.0$ и $K_s > 12.0$, произошедших на эпицентральных расстояниях $D \leq 240$ и $D \leq 350$. Считая, что геоакустическая эмиссия является индикатором изменения деформационного состояния приповерхностных пород, для поиска возмущений АЭП выбран временной интервал продолжительностью 2.5 суток перед землетрясениями в соответствии [4]. Проведено сопоставление выбранных землетрясений с аномальными возмущениями АЭП.

В пункте «Микижа» наличие возмущений АЭП рассмотрено перед 16 землетрясениями, в пункте «Карымшина» – перед 11. Полученные результаты сопоставления приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты сопоставления возмущений АЭП и землетрясений

Энергетический класс		Землетрясения			
		$11.0 < K_s \leq 12.0$		$K_s > 12.0$	
Пункт наблюдений	Год	Всего	Предваряются возмущениями АЭП	Всего	Предваряются возмущениями АЭП
Микижа	2006	4	1	4	1
	2007	3	1	0	0
	2008	3	0	2	1
Карымшина	2009	2	2	0	0
	2011	3	1	1	1
	2012	4	1	1	0
	Всего	19	6	8	3

Согласно табл. 2 в пункте «Микижа» возмущения АЭП наблюдались перед 2 землетрясениями из 10 с характеристиками $11.0 < K_s \leq 12.0$ и $D \leq 240$ км и перед 2 из 6 с $K_s > 12.0$ и $D \leq 350$ км. В пункте «Карымшина» возмущения АЭП наблюдались перед 4 из 9 землетрясений с характеристиками $11.0 < K_s \leq 12.0$ и $D \leq 240$ и перед 1 из 2 с $K_s > 12.0$ и $D \leq 350$ км.

Заключение

На основе анализа результатов наблюдений геоакустической эмиссии и атмосферного электрического поля предложены критерии выделения их аномальных возмущений. Это позволило выявить возмущения в высокочастотной геоакустической эмиссии и атмосферном электрическом поле у поверхности земли, предшествующие землетрясениям на Камчатке. Количество таких предсейсмических возмущений в электрическом поле значительно меньше, чем возмущений ГАЭ, так как атмосферно-электрические измерения проводились только в летне-осенние периоды и продолжались около трех месяцев в году.

Список литературы

- [1] Руленко О. П., Марапупец Ю. В., Мищенко М. А., «Анализ проявления связи между высокочастотной геоакустической эмиссией и электрическим полем в атмосфере у поверхности земли», *Вулканология и сейсмология*, 2014, № 3, 53–64, [English transl.: Rulenko O. P., Marapulets Yu. V., Mishchenko M. A., «An Analysis of the Relationships between High Frequency Geoacoustic Emissions and the Electrical Field in the Atmosphere near the Ground Surface», *Journal of Volcanology and Seismology*, 8:3 (2014), 183–193].
- [2] Моргунов В. А. и др., «Геоакустический предвестник Спитакского землетрясения», *Вулканология и сейсмология*, 1991, № 4, 104–106, [English transl.: Morgunov V. A. et al,

- “The geoacoustic precursor of the Spitak earthquake”, *Volcanology and Seismology*, 13:4 (1992), 516–518].
- [3] Купцов А. В., “Изменения характера геоакустической эмиссии, соответствующие заключительной стадии развития сейсмических событий”, *Физика Земли*, 2005, № 10, 59–65, [English transl.: Kuptsov A. V., “Variations in the acoustic emission pattern related to earthquakes on Kamchatka”, *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, 41:10 (2005), 825–831].
- [4] Мищенко М. А., “Статистический анализ возмущений геоакустической эмиссии, предшествующих сильным землетрясениям на Камчатке”, *Вестник КРАУНЦ. Серия: Физико-математические науки*, 2011, № 1(2), 56–64, [Mishchenko M. A., “Statisticheskiy analiz vozmushcheniy geoakusti-cheskoy emissii, predshestvuyushchikh sil'nym zemletryaseniya na Kamchatke” [Statistical analysis of geoacoustic emission disturbances preceding strong earthquakes in Kamchatka], *Vestnik KRAUNC. Fiziko-matematicheskie nauki – Bulletin of the Kamchatka Regional Association “Education-Scientific Center”. Physical & Mathematical Sciences*, 2:1 (2011), 56–64 (in Russian)].
- [5] Руленко О. П., Иванов А. В., Шумейко А. В., “Краткосрочный атмосферно-электрический предвестник Камчатского землетрясения 6 марта 1992, $M = 6.1$ ”, *Доклады АН*, **326**:6 (1992), 980–982, [Rulenko O. P., Ivanov A. V., Shumeyko A. V., “Kratkosrochnyy atmosferno-elektricheskiy predvestnik Kamchatskogo zemletryaseniya 6 marta 1992, $M = 6.1$ ” [The short-term atmospheric-electric precursor of Kamchatka earthquake on March 6, 1992, $M = 6.1$], *Doklady Earth Sciences*, 326:6 (1992), 980–982 (in Russian)].
- [6] Руленко О. П., “Оперативные предвестники землетрясений в электричестве приземной атмосферы”, *Вулканология и сейсмология*, 2000, № 4, 57–68, [English transl.: Rulenko O. P., “Immediate earthquake precursors in near-ground atmospheric electricity”, *Volcanology and Seismology*, 22:4 (2001), 435–451].
- [7] Смирнов С. Э., “Особенности отрицательных аномалий квазистатического электрического поля в приземной атмосфере на Камчатке”, *Геомagnetизм и аэрoномия*, **45**:2 (2005), 282–287, [English transl.: Smirnov S. E., “Characteristics of negative anomalies in the quasistatic electric field in the near-Earth atmosphere on Kamchatka”, *Geomagnetism and Aeronomy*, 45 (2005), 265–269].
- [8] Добровольский И. П., *Механика подготовки тектонического землетрясения*, ИФЗ АН СССР, М, 1984, 189 с., [Dobrovol'skiy I. P., *Mekhanika podgotovki tektonicheskogo zemletryaseniya* [Mechanics of the tectonic earthquake preparation], IFZ AN SSSR, М, 1984, 189 p. (in Russian)].

Поступила в редакцию / Original article submitted: 02.08.2016