РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СВЯЗИ МЕЖДУ ВОЗМУЩЕНИЯМИ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ПРИЗЕМНОМ ВОЗДУХЕ НА ПУНКТЕ "МИКИЖА" (КАМЧАТКА) ЛЕТОМ-ОСЕНЬЮ 2006-2008 гг.

THE RESULTS OF RESEARCH OF THE RELATION BETWEEN DISTURBANCES OF A HIGH-FREQUENCY GEOACOUSTIC EMISSION AND AN ELECTRIC FIELD IN THE GROUND AIR ON "MIKIZHA" STATION (KAMCHATKA) IN THE SUMMER - AUTUMN OF 2006-2008

Ю.В. Марапулец[1], О.П. Руленко[2], М.А. Мищенко[1]

[1]Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, ikir@ikir.ru
[2] Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, rulenko@kscnet.ru

On located in 28 km the south - west of the Petropavlovsk-Kamchatcky town "Mikizha" station by summer - autumn of 2006-2008 were simultaneously measured an acoustic emission in a frequency band 2.0-6.5 kHz, an electric field in air near a surface of the ground and meteorological parameters. Using a nonparametric method of correlation analysis by Spearman, the relation between hourly average values of all parameters is researched. It was calculated, that the greatest disturbances of an geoacoustic emission and an electric field of the meteorological nature call a rain and a wind. For their removal only cases of absence of a rain, the strong and moderate wind, low atmospheric pressure are parsed. In results, the significant negative correlation between perturbations of an acoustic emission and an electric field was detected in 2006 and 2007. The authors suppose that it was caused by a deforming of surface sedimentary breeds in the region of "Mikizha" station during measurings. The detected relation testifies even to one manifestation of action of the lithosphere on a ground atmosphere in seismic active region.

Исследования на Камчатке показали, что при усилении деформирования приповерхностных осадочных пород в результате образования трещин и микросмещений возникают возмущения высокочастотной геоакустической эмиссии. Они наблюдаются на частотах единицы килогерц в интервале до полутора суток перед землетрясениями и расстоянии - первые сотни километров от эпицентра [1, 2]. Перед землетрясениями регистрируются аномальные возмущения электрического поля в приземной атмосфере, которые имеют также деформационную природу и аналогичное время упреждения [3]. Поэтому актуальны совместные исследования высокочастотной геоакустической эмиссии и электрического поля. Они представляют интерес как для понимания процессов, протекающих в литосфере на заключительной стадии подготовки землетрясений, так и происходящего при этом литосферно-атмосферного воздействия.

В августе-октябре 2005 г. в 28 км запад-юго-западнее г. Петропавловска-Камчатского впервые проведены совместные измерения геоакустической эмиссии и электрического поля в атмосфере у поверхности земли. Обнаружена связь между аномальными возмущениями эмиссии в килогерцовом диапазоне частот и электрического поля. Она может проявляться как в сейсмически спокойные периоды, так и на заключительной стадии подготовки землетрясения, что свидетельствует о ее сейсмотектонической природе [4]. Исследования продолжены 27 июня - 16 октября 2006 г. (эксперимент 2006), 28 июня - 24 октября 2007 г. (эксперимент 2007) и 2 июля - 27 октября 2008 г. (эксперимент 2008). Измерялись накопленное за 4 с акустическое давление P_S в диапазоне частот 2.0–6.5 кГц и вертикальный градиент потенциала V' электрического поля на высоте 7 см от земли. В этом диапазоне частот P_S наиболее сильно отражаются появление и динамика аномальных геоакустических возмущений [1, 2]. Одновременно регистрировались атмосферное давление, скорость ветра, температура воздуха, его относительная влажность и интенсивность дождя. Измерительный комплекс описан в [4].

Рассматривалась корреляция между временными рядами среднечасовых значений всех величин. Поскольку распределения рядов значительно отличаются от нормального, использовался коэффициент ранговой корреляции Спирмена r_S. Он менее чувствителен к выбросам и погрешностям в результатах наблюдений, а также позволяет измерять монотонные нелинейные связи [5]. Согласно оценкам r_S и уровня значимости p, между рядами среднечасовых значений электрического поля, акустического давления и метеовеличин существуют значимые ($p < 0.05$) и высокозначимые ($p < 0.001$) связи. При этом ветер и, особенно, дождь оказывают наибольшее влияние на электрическое поле и акустическое давление (табл. 1).

Таблица 1. Коэффициент корреляции Спирмена r_S между рядами среднечасовых значений скорости ветра, интенсивности дождя, градиента потенциала электрического поля и акустического давления. Во всех случаях $p < 0.001$.

	Эксперимент	Электрическое поле	Акустическое давление
Ветер	2006	-0.08	0.19
	2007	-0.11	0.22
	2008	-0.10	0.22
Дождь	2006	-0.27	0.34
	2007	-0.28	0.31
	2008	-0.37	0.47

Атмосферное давление, температура воздуха и его относительная влажность влияют значительно слабее. Поэтому рассматривалась связь только между теми парами среднечасовых значений градиента потенциала $\overline{V'}$ и акустического давления $\overline{P_S}$, когда отсутствовал дождь, среднечасовые значения скорости ветра были меньше 1.5 м/с, а атмосферного давления - больше 995 гПа (рис. 1). Последнее условие принято для еще большего устранения влияния циклонов.

Представленная на рис. 1 связь содержит, по мнению авторов, две компоненты: фоновую, обусловленную слабым действием неучтенных метеорологических и других факторов, и тектоническую, которая вызвана усилением деформирования приповерхностных пород. Поскольку у Восточной Камчатки интенсивно протекает сейсмотектонический процесс, такое усиление должно происходить неоднократно за время экспериментов. Фоновая компонента будет проявляться при $\overline{P_S}$ меньше некоторого значения $\overline{P_S}^*$, а тектоническая - когда $\overline{P_S}$ больше $\overline{P_S}^*$, что происходит при усилении деформирования пород.

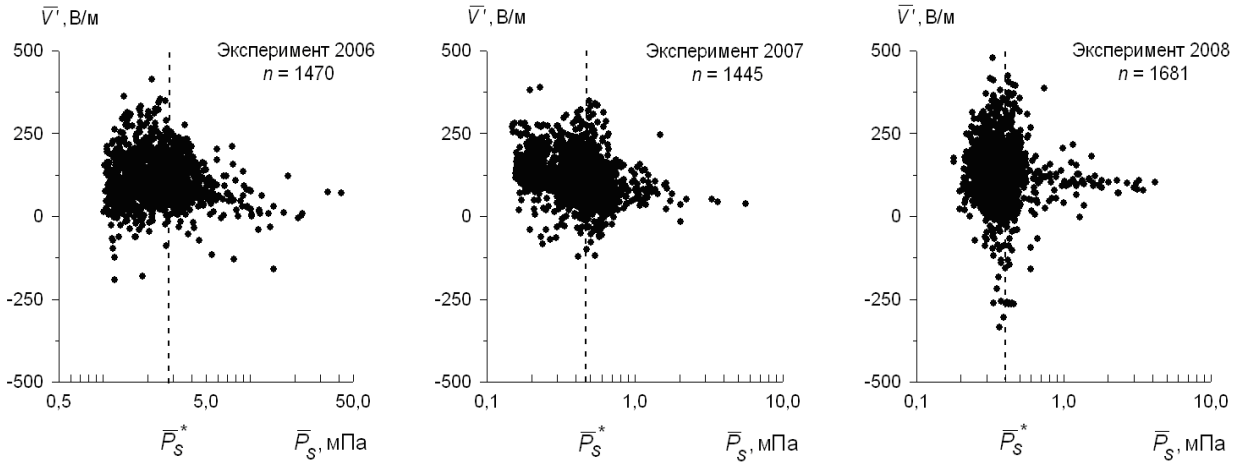

Рис. 1. Связь между среднечасовыми значениями градиента потенциала $\overline{V'}$ электрического поля и акустического давления $\overline{P_S}$. Вертикальные пунктирные линии - значения $\overline{P_S}^*$; n - число пар $\overline{V'}$ и $\overline{P_S}$.

Для разделения фоновой и тектонической компонент связи между $\overline{V'}$ и $\overline{P_S}$ применялась кусочно-линейная регрессия. Использовался квазиньютоновский метод оценивания параметров регрессии, точка разрыва по акустическому давлению, которая соответствует в первом приближении значению $\overline{P_S}^*$, оценивалась вычислительной программой. В эксперименте 2006, 2007 и 2008 $\overline{P_S}^*$ равно, соответственно, 2.66, 0.46 и 0.41 мПа. Уменьшение значений акустического давления в эксперименте 2007 и 2008 связано с перестановкой датчика на несколько метров после эксперимента 2006, что сопровождалось уменьшением среднего уровня высокочастотной геоакустической эмиссии. Параметры фоновой и тектонической компонент связи даны в табл. 2.

Таблица 2. Параметры фоновой ($\overline{P_S} < \overline{P_S}^*$) и тектонической ($\overline{P_S} > \overline{P_S}^*$) компонент корреляционной связи между $\overline{V'}$ и $\overline{P_S}$; n - число пар $\overline{V'}$ и $\overline{P_S}$, r_S - коэффициент корреляции Спирмена, p - уровень значимости.

Параметр	Эксперимент 2006		Эксперимент 2007		Эксперимент 2008	
	компонента связи					
	фоновая	тектоническая	фоновая	тектоническая	фоновая	тектоническая
n	969	501	792	653	1177	504
r_S	0.11	-0.27	-0.15	-0.23	-0.07	-0.02
p	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.02	0.61

Для выяснения влияния погоды на тектоническую компоненту определялась сумма осадков, выпавших за время наличия в экспериментах одновременных среднечасовых значений электрического поля и акустического давления. По техническим причинам их ряды имели небольшие пропуски, часть которых не совпадала во времени. При анализе же корреляционной связи рассматриваются только парные значения рядов, поэтому учитывались периоды одновременных значений $\overline{V'}$ и $\overline{P_S}$. В 2006, 2007 и 2008 г. такая сумма осадков равна, соответственно, 128, 222 и 381 мм, т. е. от эксперимента к эксперименту происходило ухудшение погоды. Оно подтверждается и увеличением диапазона среднечасовых значений атмосферного давления (рис. 2). При этом тектоническая компонента связи между $\overline{V'}$ и $\overline{P_S}$ есть в эксперименте 2006, 2007 и отсутствует в эксперименте 2008 (рис. 1, табл. 2), когда была самая плохая погода. В последнем наблюдаются самые большие значения коэффициента корреляции электрического поля и акустического значения с дождем (табл. 1) и самый большой размах $\overline{V'}$ в фоновой компоненте (рис. 1), где и отразилась плохая погода. Следовательно, выделенная нами тектоническая компонента связи между $\overline{V'}$ и $\overline{P_S}$ действительно имеет не метеорологическое происхождение, а предложенная выше методика её выделения достаточно эффективна.

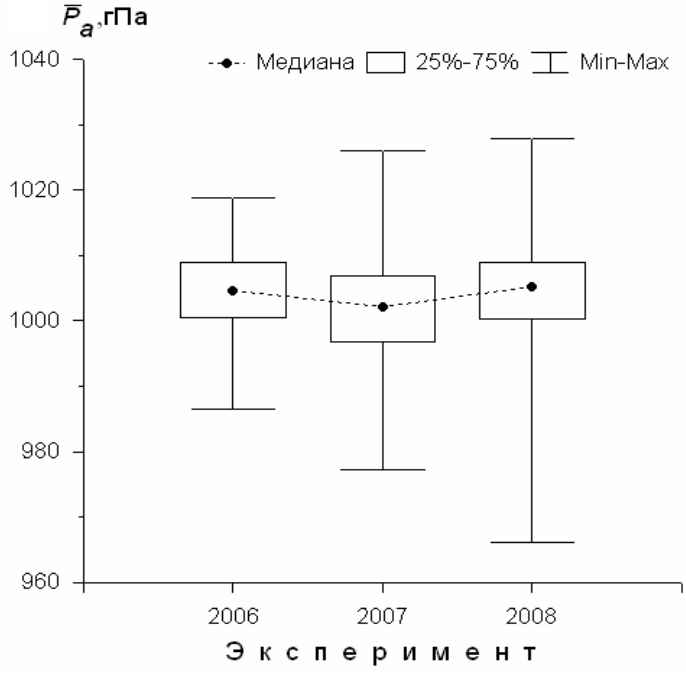

Рис. 2. Распределения среднечасовых значений атмосферного давления $\overline{P_a}$ в виде диаграмм диапазонов в экспериментах.

Связь между электрическим полем и акустическим давлением у тектонической компоненты в экспериментах 2006, 2007 не является, на первый взгляд, сильной (табл. 2). Однако, она сопоставима с влиянием в них дождя на электрическое поле (табл. 1), которое считается

одним из наиболее сильных в атмосферном электричестве [6]. Занижение связи вызвано рассмотрением среднечасовых значений анализируемых величин, поскольку при усреднении уменьшается амплитуда аномальных возмущений их исходных значений, и как следствие, сила выявляемой связи. Тем не менее, использование среднечасовых значений оправданно, так как позволяет установить сам факт наличия связи на выборках большого объема.

Наиболее вероятной причиной связи между электрическим полем и высокочастотной геоакустической эмиссией в тектонической компоненте является усиление деформирования приповерхностных осадочных пород в районе пункта измерений. При этом в результате образования трещин по границам неоднородностей возникают возмущения высокочастотной геоакустической эмиссии [7]. Согласно [2], наблюдаемые акустические сигналы генерируются трещинами, удаленными до первых десятков метров от датчика. Источником аномальных возмущений электрического поля, по мнению авторов, является образование у земли слоя воздуха с повышенной ионизацией. В результате возникнет отрицательный вертикальный градиент электропроводности и, как следствие, отрицательный объемный заряд [6]. Он частично или полностью компенсирует положительный объемный заряд электродного эффекта, что вызовет уменьшение и даже изменение знака регистрируемого электрического поля. Выравнивание концентрации ионов по высоте приведет к исчезновению градиента электропроводности воздуха и аномалии поля.

Повышенная ионизация воздуха у поверхности земли может быть вызвана усилением ионизирующего излучения из почвы и более сильным выходом из нее радона и торона [6, 8, 9] с последующим накоплением в условиях спокойной погоды. Оба процесса должны иметь место при усилении деформирования приповерхностных пород. Появление при этом отрицательных аномалий электрического поля в атмосфере подтверждается регистрацией их перед землетрясениями [3] и при увеличении объемной активности подпочвенного радона [10].

Таким образом, после исключения из рассмотрения случаев плохой погоды (дождя, сильного и умеренного ветра, низкого атмосферного давления), а также выделения слабого влияния неучтенных метеорологических и других факторов, в экспериментах 2006 и 2007 гг. обнаружена высокозначимая отрицательная связь между возмущениями электрического поля в приземном воздухе и высокочастотной геоакустической эмиссии. В эксперименте 2008 г. она отсутствует. Эта связь имеет не метеорологическое происхождение, поэтому наиболее вероятно, что она вызвана усилением деформирования приповерхностных осадочных пород в районе пункта измерений при сейсмотектоническом процессе. Для выяснения ее природы необходимы комплексные исследования у границы земля-воздух в обеих средах. Обнаруженная связь свидетельствует еще об одном проявлении воздействия литосферы на приземную атмосферу в сейсмоактивном регионе.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 16 «Изменения окружающей среды и климата: природные катастрофы» и Президиума ДВО РАН (грант № 06-I-П16-070).

Литература

1. *Купцов А.В.* Изменение характера геоакустической эмиссии в связи с землетрясением на Камчатке // Физика Земли. 2005. № 10. С. 59-65.
2. *Купцов А.В., Ларионов И.А., Шевцов Б.М.* Особенности геоакустической эмиссии при подготовке камчатских землетрясений // Вулканология и сейсмология. 2005. № 4. С. 1-14.
3. *Руленко О.П.* Оперативные предвестники землетрясений в электричестве приземной атмосферы // Вулканология и сейсмология. 2000. № 4. С. 57-68.
4. *Купцов А.В., Марапулец Ю.В., Мищенко М.А., Руленко О.П., Шевцов Б.М., Щербина А.О.* О связи высокочастотной акустической эмиссии приповерхностных пород с электрическим полем в приземном слое атмосферы // Вулканология и сейсмология. 2007. № 5. С. 71-76.
5. *Боровиков В.* STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. СПб.: Питер. 2003. 688 с.
6. *Чалмерс Дж.А.* Атмосферное электричество. Л.: Гидрометеоиздат. 1974. 421 с.
7. *Долгих Г.И., Купцов А.В., Ларионов И.А. и др.* Деформационные и акустические предвестники землетрясений // ДАН. 2007. Т. 413. № 5. С.96-100.
8. *Брикар Дж.* Проблемы электричества атмосферы. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1969. С. 68-105.
9. *Смирнов В.В.* Ионизация в тропосфере. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. 312 с.
10. *Адушкин В.В., Спивак А.А., Кишкина С.Б., Локтев Д.Н., Соловьев С.П.* Динамические процессы в системе взаимодействующих геосфер на границе земная кора-атмосфера // Физика Земли. 2006. № 7. С. 34-51.