

Результаты исследований связи между геоакустической эмиссией и атмосферным электрическим полем на Камчатке

МАРАПУЛЕЦ Ю.В.¹, РУЛЕНКО О.П.^{1,2}, МИЩЕНКО М.А.¹, ЛАРИОНОВ И.А.¹

¹Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Россия

²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Россия

marpl@ikir.ru, rulenko@kscnet.ru, micle@ikir.ru, igor@ikir.ru

В сейсмоактивных регионах перед землетрясениями регистрируются аномальные возмущения атмосферного электрического поля [1, 2]. Они возникают за первые десятки часов - первые часы в зоне подготовки землетрясений и связаны с деформациями приповерхностных пород [3]. Исследования на Камчатке показали, что при активизации деформирования приповерхностных осадочных пород возникают аномальные возмущения геоакустической эмиссии, которые наблюдаются на частотах единицы килогерц в интервале до полутора суток перед землетрясениями и на удалении в первые сотни километров от эпицентра [4]. Общая деформационная природа возмущений и одинаковое время появления перед землетрясениями служат основанием для совместного изучения этих геофизических полей.

В августе - октябре 2005 г. на Камчатке в пункте "Микижа" (52.990 с.ш., 158.230 в.д.) впервые были проведены совместные измерения атмосферного электрического поля, акустической эмиссии и метеовеличин [5]. Измерения градиента потенциала V' поля осуществлялись датчиком "Поле-2М" на высоте 7 см от поверхности земли. Датчиком акустических сигналов был пьезокерамический гидрофон, установленный на дне озера на глубине 4 м. Расстояние между гидрофоном и датчиком "Поле-2М" было 130 м. Рассматривалось акустическое давление P_s , накопленное за 4 с в 7 частотных диапазонах (0.1-10, 10-50, 50-200, 200-700, 700-1500, 1500-6000, 6000-10000 Гц). При отсутствии дождя и спокойной погоде обнаружена связь между аномальными возмущениями электрического поля и акустического давления в килогерцовом диапазоне частот. Она проявляется в сейсмически спокойные периоды и на заключительной стадии подготовки землетрясения [5].

Измерения были продолжены в июле-октябре 2006 и 2007 гг. Акустическое давление P_s измерялось в диапазоне частот 2.0-6.5 кГц, так как в результате длительных наблюдений было установлено, что аномальные акустические сигналы в пункте "Микижа" проявляются наиболее сильно на этих частотах [4]. При спокойной погоде (отсутствие дождя, сильного и умеренного ветра, низкого атмосферного давления) в экспериментах иногда наблюдались аномальные бухтообразные уменьшения градиента потенциала V' , вплоть до изменения знака, которые возникали при резком и значительном увеличении акустического давления P_s (рис. 1). Отметим, что аномальные возмущения V' и P_s продолжаются обычно первые десятки минут - первые часы, заполняя, как правило, часть часа, двух соседних часов или начального и конечного часа при длительности несколько часов. Появление таких возмущений должно проявиться в изменчивости среднечасовых значений градиента потенциала электрического поля и акустического давления. Поэтому анализировались их среднечасовые значения, которые являются средними из 900 измерений. Среднечасовые значения метеовеличин являются средними из 6 измерений.

Для выбора адекватного метода анализа данных проверялась нормальность распределения среднечасовых значений всех величин. Использовались оценки коэффициентов

асимметрии, эксцесса и их стандартных ошибок, а также критерий Шапиро-Уилка, который является наиболее мощным и универсальным среди других подобных критериев. Распределения этих значений отличаются от нормального. Поэтому использовался коэффициент ранговой корреляции Спирмена, который менее чувствителен к выбросам и погрешностям в результатах наблюдений и является более устойчивой и надежной оценкой связи между переменными по сравнению с коэффициентом линейной корреляции Пирсона. Он позволяет оценивать также монотонные нелинейные связи.

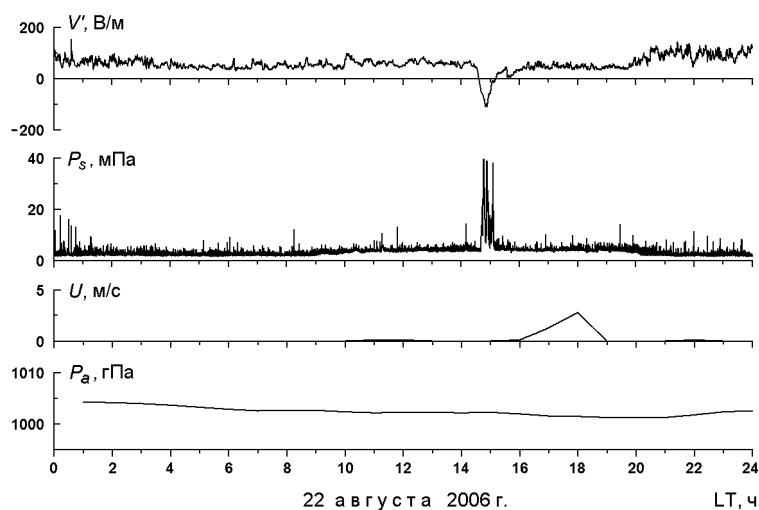


Рис. 1. Пример уменьшения градиента потенциала V' электрического поля при увеличении акустического давления P_s . U – скорость ветра, P_a – атмосферное давление

На рис. 2 представлены взаимные корреляционные функции (ВКФ) для рядов среднечасовых значений градиента потенциала и акустического давления. Как видно, максимальные значения ВКФ наблюдаются при нулевом сдвиге. Следовательно, с точностью до одного часа, отрицательные возмущения V' происходили одновременно с возмущениями P_s . Поэтому в дальнейшем рассматривались их парные среднечасовые значения \bar{V}' и \bar{P}_s .

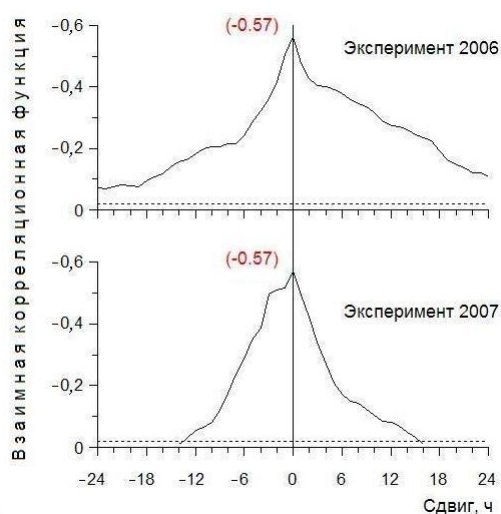


Рис. 2. Взаимные корреляционные функции для рядов среднечасовых значений \bar{V}' и \bar{P}_s , в скобках указаны максимальные значения функций

Согласно результатам корреляционного анализа электрическое поле и акустическое

давление наиболее сильно коррелируют с ветром и, особенно, с дождем [6]. Поэтому в дальнейшем рассматривалась связь между теми парами \bar{V}' и \bar{P}_s , когда отсутствовал дождь, скорость ветра была меньше 1.5 м/с, а атмосферное давление - больше 995 гПа. Последнее условие принято для еще большего уменьшения влияния циклонов на поведение рассматриваемых полей. Диаграммы рассеяния между среднечасовыми значениями электрического поля и акустического давления при такой спокойной погоде показаны на рис. 3.

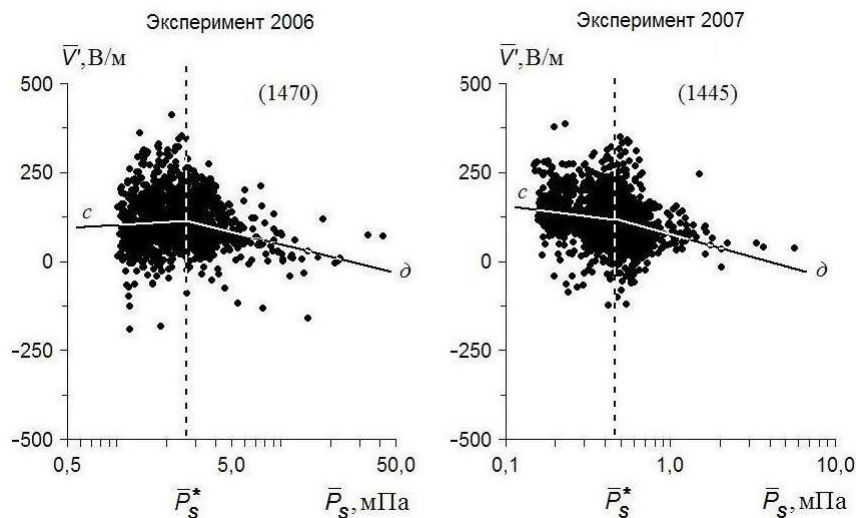


Рис. 3. Диаграмма рассеяния между среднечасовыми значениями \bar{V}' и \bar{P}_s . В скобках указано число пар среднечасовых значений. Вертикальные пунктирные линии – значения акустического давления \bar{P}_s^* , которые соответствуют точкам разрыва кусочно-линейной регрессии по акустическому давлению; с, д – прямые, иллюстрирующие регрессию для фоновой и тектонической компоненты связи

По нашему мнению [6] представленная на рис. 3 связь содержит две компоненты: фоновую, обусловленную слабым действием на электрическое поле и геоакустическую эмиссию неучтенных метеорологических, а также других факторов и компоненту тектонической природы. Последняя формируется разными по знаку возмущениями электрического поля и геоакустической эмиссии, возникающими во время активизации деформирования приповерхностных пород в районе пункта измерений. Такая активизация должна происходить неоднократно при интенсивно протекающем у Восточной Камчатки сейсмо-тектоническом процессе. Будем считать, что фоновая компонента связи проявляется при \bar{P}_s меньше некоторого значения \bar{P}_s^* , а тектоническая – когда \bar{P}_s больше \bar{P}_s^* , что происходит при активизации деформирования пород. Разные механизмы образования фоновой и тектонической компонент связи между электрическим полем и геоакустической эмиссией, обусловленные, прежде всего, разным местонахождением источников возмущений этих геофизических полей (атмосфера, литосфера), должны вызвать сложную зависимость между \bar{V}' и \bar{P}_s . Для разделения компонент связи применялась кусочно-линейная регрессия. Использовался квазиньютоновский метод оценивания параметров регрессии, точка разрыва по акустическому давлению, которая соответствует в первом приближении значению \bar{P}_s^* , определялась вычислительной программой.

Оценены значения коэффициента корреляции Спирмена r_s для фоновой и тектонической компонент связи между электрическим полем и геоакустической эмиссией. В обоих экспериментах обнаружена статистически высокозначимая корреляционная связь между \bar{V}' и \bar{P}_s в тектонической компоненте ($r_s = -0.27$ и -0.23 , $p < 0.001$). Коэффициент корреляции в ней отрицателен по знаку, что соответствует разному знаку аномальных возмущений электрического поля и геоакустической эмиссии (см. рис. 1).

Аномальные возмущения высокочастотной геоакустической эмиссии имеют деформационную природу, что подтверждено совместными измерениями с деформациями приповерхностных пород в пункте "Карымшина" [7], расположенном в 20 км юго-западнее пункта "Мижижа". В обоих пунктах приповерхностные породы являются осадочными с толщиной слоя примерно 50 м. Они представляют песчано-глинистую смесь, содержащую щебень и крупные камни. Одновременные атмосферно-электрические, геоакустические и деформационные измерения, проведенные в пункте "Карымшина" [8], показали, что разные по знаку аномальные возмущения градиента потенциала V' и акустического давления P_s возникают при растяжении приповерхностных осадочных пород. При их сжатии наблюдаются только возмущения акустической эмиссии. Все возмущения зарегистрированы при отсутствии дождя и сильного ветра, слабо меняющемся атмосферном давлении и деформациях пород на два порядка больше приливных, что свидетельствует об их тектонической природе.

Появление одновременных возмущений атмосферного электрического поля и геоакустической эмиссии можно объяснить с позиции рассмотрения приповерхностных осадочных пород как полидисперсной пористой структуры малой прочности. При растяжении и сжатии такой структуры происходят относительные микросмещения фрагментов, генерирующие акустические сигналы. Возмущения электрического поля только при растяжении пород связаны, вероятнее всего, с выходом из земли радона и торона. Растяжение сопровождается раскрытием пор и расширением трещин, которые увеличивают выход этих радиоактивных газов, а сжатие – закрытием пор и перекрытием трещин, которые уменьшают их выход. Поступающие в атмосферу радон и торон вызовут увеличение интенсивности ионообразования у поверхности земли. В результате, как впервые теоретически показал Хошпель [9], при хорошей погоде в некотором слое воздуха появится отрицательный заряд, который приведет к реверсу обычного электродного эффекта. Он наблюдался многими исследователями. Обусловленный повышенной ионизацией воздуха отрицательный объемный заряд сохраняется и при слабом ветре [10]. Появление, существование и разрушение этого заряда, создающего обратное по знаку локальное электрическое поле, вызовут бухтообразное уменьшение градиента потенциала V' у поверхности земли.

Литература

1. Гохберг М.Б., Моргунов В.А., Похотелов О.А. Сейсмoeлектромагнитные явления. – М.: Наука, 1988. 174 с.
2. Сидорин А.Я. Предвестники землетрясений. – М.: Наука, 1992. 192 с.
3. Руленко О.П. Оперативные предвестники землетрясений в электричестве приземной атмосферы // Вулканология и сейсмология. – 2000. – № 4. – С. 57 - 68.
4. Купцов А.В., Ларионов И.А., Шевцов Б.М. Особенности геоакустической эмиссии при подготовке камчатских землетрясений // Вулканология и сейсмология. – 2005. – № 5. – С. 45 - 59.
5. Купцов А.В., Марапулец Ю.В., Мищенко М.А. и др. О связи высокочастотной акустической эмиссии приповерхностных пород с электрическим полем в приземном слое атмосферы // Вулканология и сейсмология. – 2007. – № 5. – С. 71 - 76.
6. Марапулец Ю.В., Руленко О.П., Мищенко М.А. и др. Связь высокочастотной геоакустической эмиссии с электрическим полем в атмосфере при сеймотектоническом процессе // ДАН. – 2010. – Т. 431. – № 2. – С. 242 - 245.

7. Долгих Г.И., Купцов А.В., Ларионов И.А. и др. Деформационные и акустические предвестники землетрясений // ДАН. – 2007. – Т. 413. – № 1. – С. 96 - 100.
8. Марапалец Ю.В., Руленко О.П., Ларионов И.А. и др. Одновременный отклик высокочастотной геоакустической эмиссии и атмосферного электрического поля на деформирование приповерхностных осадочных пород // ДАН. – 2011. – Т. 440. – № 3. – С. 403 - 406.
9. Hoppel W.A. Theory of the electrode effect // J. Atm. and Terr. Phys. – 1967. – V. 29. – P. 709 - 721.
10. Куповых Г.В., Морозов В.Н., Шварц Я.М. Теория электродного эффекта в атмосфере. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1998. 123 с.

Results of investigation of the relation between geoaoustic emission and atmospheric electric field in Kamchatka

Marapulets Yu.V.¹, Rulenko O.P.^{1,2}, Mishchenko M.A.¹, Larionov I.A.¹

¹ *Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation FEB RAS, Russia*

² *Institute of Vulcanology and Seismology FEB RAS, Russia*

Results of joint investigation of geoaoustic emission and atmospheric electric field by the ground surface, which have been carried out in Kamchatka since 2005, are presented. It has been discovered for the first time, that during calm weather conditions (no rain, strong or moderate wind, low atmospheric pressure) simultaneous disturbances of these geophysical fields are sometimes observed. They are manifested in the form of bay-like decreases of electric field gradient potential up to the change of sign, which appear during sharp and considerable increase of acoustic pressure in kilohertz frequency range. Applying non-parametric methods for correlation analysis and according to the data of two summer-autumn experiments, highly significant feedback coupling between mean hour values of geoaoustic emission and of electric field was statistically determined. Up-to-date geoaoustic, atmospheric-electric and deformation measurements has shown that different in sign anomalous disturbances of emission and electric field occur when near surface sedimentary rock deformation velocity is increased during tension. Possible mechanism of appearance of the determined relation is considered.