

УДК 551.25.254:[551.594.11:551.510.71:534.23]

**СОВМЕСТНОЕ ВОЗМУЩЕНИЕ ГЕОАКУСТИЧЕСКОГО,
ЭМАНАЦИОННОГО И АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЕЙ У
ГРАНИЦЫ ЗЕМНАЯ КОРА — АТМОСФЕРА ПЕРЕД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ**

О. П. Руленко^{1,2}, Ю. В. Марапупец², Ю. Д. Кузьмин³, А. А. Солодчук²

¹ Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, 683006, г. Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийпа, 9

² Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, 684034, Камчатский край, п. Паратунка, ул. Мирная, 7

³ Камчатский филиал Геофизической службы РАН, 683006, г. Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийпа, 9

E-mail: rulenko@kscnet.ru, marpl@ikir.ru, kuzy@emsd.ru, aleksandra@ikir.ru

Рассмотрена возможность совместного возмущения геоакустического, эманационного и атмосферного электрического полей у границы земная кора — атмосфера перед землетрясением.

Ключевые слова: землетрясение, геоакустическая эмиссия, радон, торон, атмосферное электрическое поле

© Руленко О. П. и др., 2016

MSC 86A15

**JOINT PERTURBATION OF GEOACOUSTIC, EMANATION AND
ATMOSPHERIC ELECTRIC FIELDS AT THE BOUNDARY OF THE EARTH'S
CRUST AND THE ATMOSPHERE BEFORE THE EARTHQUAKE**

O. P. Rulenko^{1,2}, Yu. V. Marapulets², Yu. D. Kuzmin³, A. A. Solodchuk²

¹ Institute of Volcanology and Seismology Far-Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, 683006, Petropavlovsk-Kamchatskii, bul'var Piipa, 9, Russia

² Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS, 684034, Kamchatka region, Elizovskiy district, Paratunka, Mirnaya str., 7, Russia

³ Kamchatka Branch, Geophysical Service, Russian Academy of Sciences, 683006, Petropavlovsk-Kamchatskii, bul'var Piipa, 9, Russia

E-mail: rulenko@kscnet.ru, marpl@ikir.ru, kuzy@emsd.ru, aleksandra@ikir.ru

The possibility of joint perturbation of geoaoustic, emanation and atmospheric electric fields by the earth's crust — atmosphere boundary before an earthquake is considered.

Key words: earthquake, acoustic emission, radon, thoron, atmospheric electric field

© Rulenko O. P., et al., 2016

Введение

Граница между литосферой и атмосферой характеризуется сильными изменениями свойств контактирующих сред, большими потоками массы и энергии, широким перечнем одновременно существующих разнородных полей, их взаимодействием и преобразованием [1]. Составной частью взаимодействия твердой и газообразной геосфер является воздействие литосферы на атмосферу. Оно проявляется, в частности, в аномальных изменениях геофизических полей в приземной атмосфере в результате геодинамических процессов в земной коре и происходит интенсивно в сейсмоактивных регионах на заключительной стадии подготовки землетрясений.

Среди различных приповерхностных полей заслуживает внимания совместное поведение перед землетрясением геоакустического, эманационного и атмосферного электрического полей. К настоящему времени многими исследователями обнаружены предсейсмические возмущения этих разных по своей сущности полей, но их одновременная регистрация не проводилась. Совместный анализ возмущений различных полей улучшает надежность выделения предвестников землетрясений и может служить основанием при изучении процесса их подготовки [2], [3].

Общепринято считать, что при подготовке тектонического землетрясения ведущую роль играют механические процессы. Они вызывают изменения напряженного состояния земной коры, которые в результате ее неоднородной иерархически блоковой структуры обуславливают сложное пространственно-временное деформирование пород, в том числе — их локальные растяжения и сжатия. На рис. 1 представлена схема образования совместного возмущения геоакустического, эманационного и атмосферного электрического полей у границы земная кора — атмосфера перед землетрясением при наличии в пункте наблюдений приповерхностных осадочных пород и их растяжении. Она составлена авторами на основании обобщения и анализа имеющихся в мировой литературе результатов теоретических исследований и натуральных наблюдений. Предсейсмические возмущения этих полей, как и предвестники в других полях, порождаются изменением поля напряжений в зоне подготовки землетрясения. Они возникают в результате преобразования напряжение — деформация растяжения приповерхностных осадочных пород в пункте наблюдений, имеют свои особенности генезиса, но общую деформационную природу.

Растяжение осадочных пород, имеющих полидисперсную флюидонасыщенную пористую структуру малой прочности, сопровождается относительными микросмещениями фрагментов, их переупаковкой и, как следствие, генерацией акустических сигналов. Одновременно, в результате раскрытия находящихся в соприкосновении поверхностей контактов и усиления эманирования пород, а также открытия изолированных пор и расширения трещин, увеличивается концентрация радона и торона в почвенном газе и их поступление в атмосферу, которое усиливает ионизацию приземного воздуха. При хорошей погоде это сопровождается известным в атмосферном электричестве появлением у земли в слое воздуха толщиной от десятых долей метра до нескольких метров отрицательного электрического заряда [4], [5]. Его плотность может достигать больших значений. Вблизи такого заряда и особенно ниже будет уменьшаться нормальное атмосферное электрическое поле и даже изменяться знак ([6] — краткий обзор). Появление и диссипация отрицательного объемного заряда вызовут бухтообразное уменьшение электрического поля, которое наблюдается перед землетрясениями [7]–[9]. Общим фактором, способствующим протеканию рассмат-

риваемых процессов, является фрагментарность осадочных пород и, как следствие, их повышенная деформируемость.

Наблюдения и результаты

В августе–октябре 2012 г. в пункте “Карымшина” (52.83°N , 158.13°E) Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН впервые одновременно измерялись объемная активность радона Rn и торона Tn в поверхностном слое грунта, геоакустическая эмиссия в диапазоне частот 0.7–2.0 кГц, градиент потенциала атмосферного электрического поля на высоте 7 см от поверхности земли, атмосферное давление, скорость ветра и интенсивность дождя [6]. В качестве характеристики локальной сейсмической активности рассматривалась накопленная энергия землетрясений с энергетическим классом $K_s \geq 9.0$, происходивших на эпицентральной расстоянии $R \leq 250$ км от этого пункта. Использовались данные регионального каталога Камчатского филиала Геофизической службы РАН (<http://emsd.ru>).

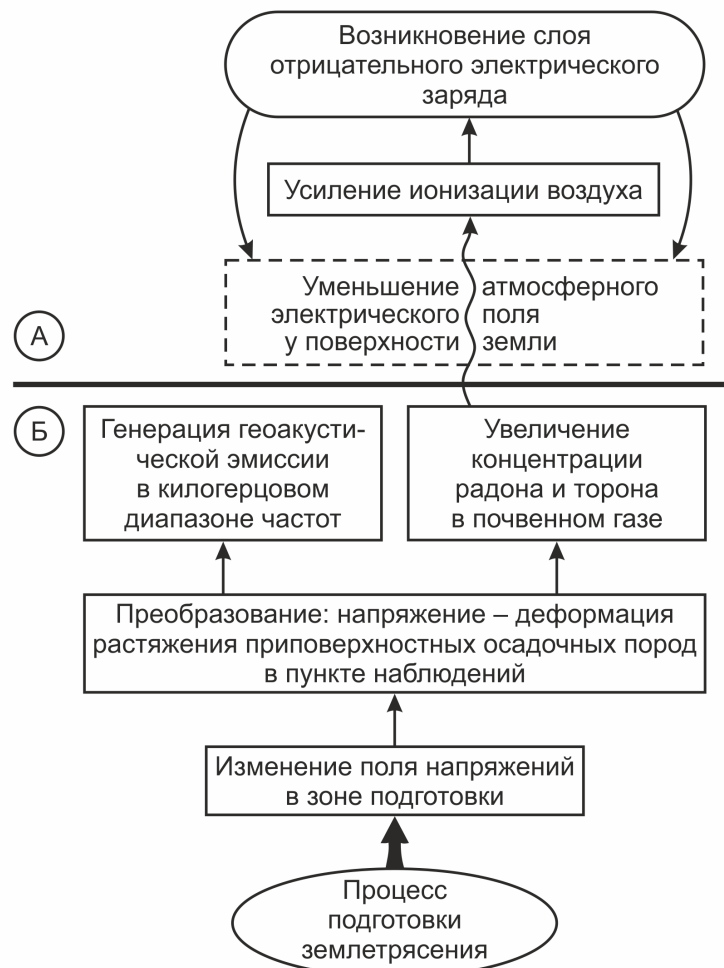


Рис. 1. Схема образования совместного возмущения геоакустического, эманационного и атмосферного электрических полей у границы земная кора — атмосфера перед землетрясением. А — приземный воздух, Б — приповерхностные осадочные породы.

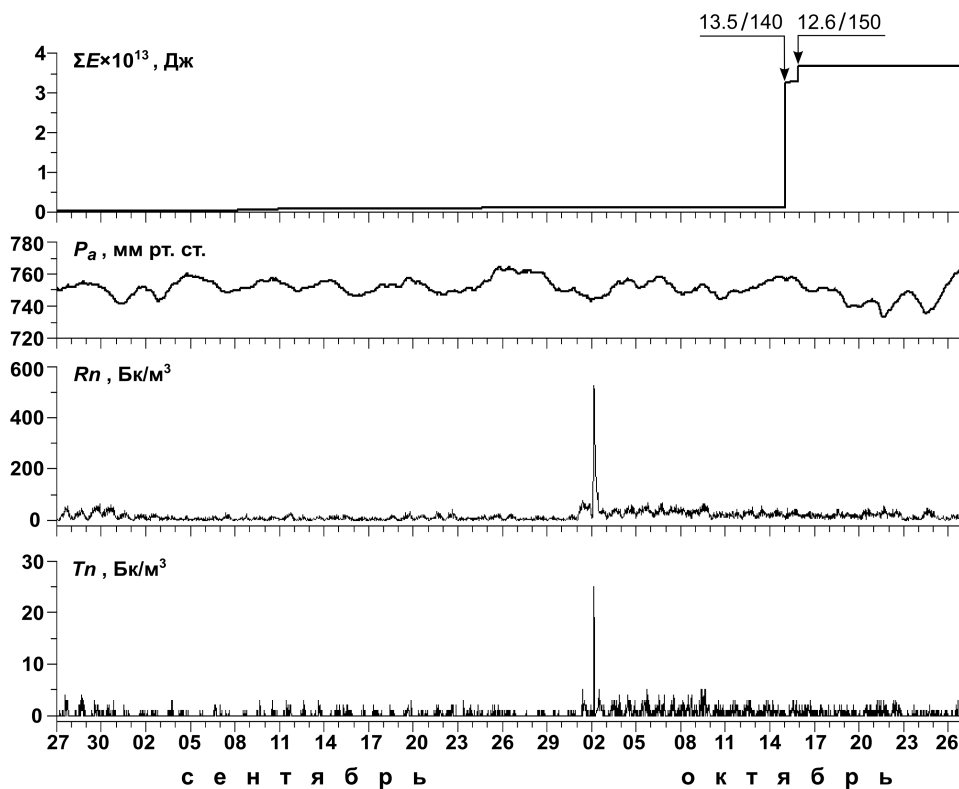


Рис. 2. График накопления энергии ΣE землетрясений с $K_s > 9.0$, произошедших в области выборки, вариации атмосферного давления P_a , объемной активности радона Rn и торона Tn во время наблюдений.евой стрелкой отмечен момент главного землетрясения 15 октября 2012 г., правой — его самый сильный афтершок. Первое число над стрелкой — K_s , второе — эпицентральное расстояние, км.

Рис. 2 иллюстрирует график накопления энергии рассматриваемых землетрясений, вариации атмосферного давления и объемной активности эманаций. Как видно на рис. 2, только 2 октября было сильное увеличение значений Rn и Tn , которое длилось около 8 часов. Увеличение объемной активности эманаций, уменьшение электрического поля и увеличение геоакустической эмиссии в трех точках измерений, образующих треугольник со сторонами 10–35 м, происходили при спокойной погоде (отсутствовал дождь, сильный и умеренный ветер, слабо менялось атмосферное давление, см. рис. 3).

За период измерений, равный 52 суткам, увеличения геоакустической эмиссии и близкого во времени уменьшения электрического поля с изменением знака при такой погоде больше не было. Это свидетельствует о не метеорологической природе данных возмущений.

Совместное аномальное возмущение полей наблюдалось за 13 суток перед землетрясением с $K_s = 13.5$, произошедшим 15 октября 2012 г. в 01 ч 19 мин UTC в 140 км от пункта “Карымшина”. Координаты эпицентра $51.900^\circ N$, $159.379^\circ E$, глубина очага 21 км, моментная магнитуда $M_w = 5.6$ (каталог NEIC, <http://earthquake.usgs.gov>). Это землетрясение сопровождалось афтершоками, самый сильный из них был 15 октября в 22 ч 45 мин. Он имел $K_s = 12.6$, координаты эпицентра $51.810^\circ N$, $159.519^\circ E$, глубину очага 35 км и заметно отразился на графике накопления сейсмической энергии (см. рис. 2).

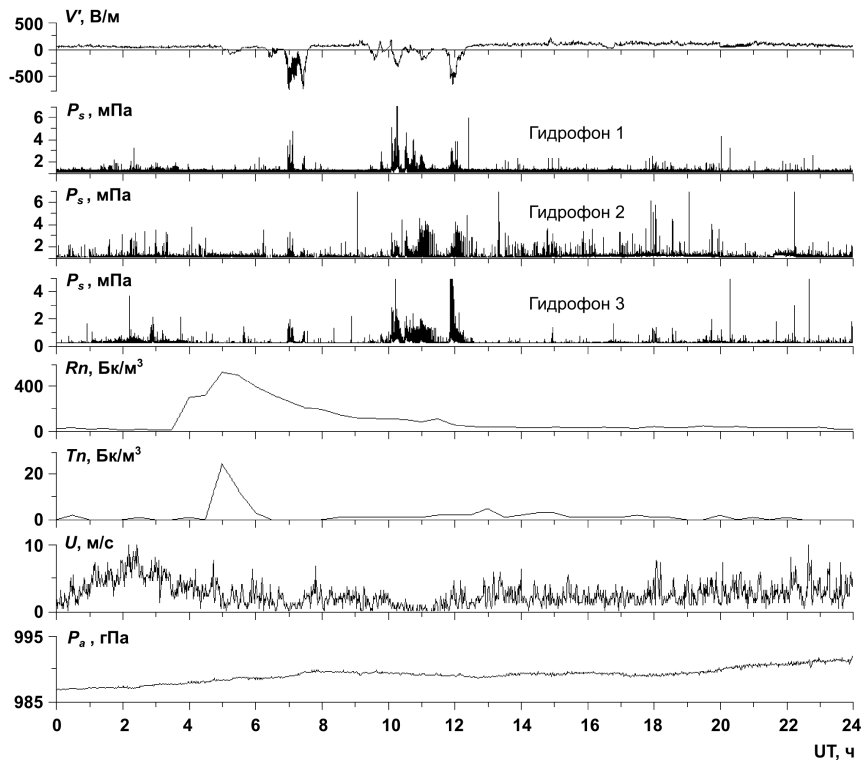


Рис. 3. Вариации градиента потенциала V' атмосферного электрического поля, акустического давления P_s в трех точках измерений, объемной активности эманий, скорости ветра U на высоте 8 м от земли и атмосферного давления P_a 2 октября 2012 г.

В 120 м от измерительной площадки находится скважина № 99-8 Камчатского филиала Геофизической службы РАН глубиной 19 м. Ее геологическая колонка представлена следующими породами: валунно-галечные отложения с песчанно-глинистым заполнителем (0–5 м), глыбово-щебнистые отложения с глинистым заполнителем (5–14 м), валунно-галечные отложения с песчаным заполнителем (14–19 м). Статический уровень воды равен 13.7 м. Таким образом, приповерхностные породы в районе пункта “Карымшина” являются осадочными. Толщина их слоя примерно 50 м.

Теоретический радиус зоны проявления предвестников по деформациям земной поверхности, известный как $r = e^M$ (км), составляет для главного землетрясения 15 октября 270 км и значительно больше эпицентрального расстояния до пункта “Карымшина”. Этот пункт находится в зоне пересечения разноранговых тектонических разломов. Разломные зоны характеризуются повышенной тензочувствительностью различных полей и их более сильными вариациями [10], а также более сильными возмущениями полей перед землетрясениями [3]. Поэтому сейсмогенная природа аномальных возмущений 2 октября вполне реальна.

Аномальное увеличение радона и торона длительностью около 8 ч за 13 суток перед землетрясением 15 октября с $M_w = 5.6$, $R = 140$ км хорошо согласуется с результатами работы [11]. В этой работе в зоне активного разлома на Тайване зарегистрированы одновременные увеличения радона и торона в почвенном газе перед землетрясениями с $M_L \geq 4.5$, $R < 150$ км. Они возникали обычно за 1–20 суток и имели наименьшую длительность 5–7 ч.

Радон и торон мало различаются физико-химически, за исключением периода полураспада, который равен, соответственно, 3.825 суток и 55.6 с. Из-за малого периода полураспада торон не может мигрировать далеко от места образования и его массоперенос имеет поверхностный характер. При поступлении в атмосферу он выходит из слоя почвы толщиной 6 см, при этом ее первые 2 см дают до 75% эманации [12]. Большой период полураспада позволяет радону за время, равное трем–четырем периодам, поступать путем диффузионного массопереноса с глубины до 10–12 м [13]. При растяжении осадочных пород, когда происходит их разуплотнение и увеличивается газопроницаемость, эта глубина будет больше.

Зарегистрированное 2 октября аномальное возмущение геоакустического, эманационного и атмосферного электрического полей можно рассматривать как комплексный краткосрочный предвестник землетрясения 15 октября с $M_w = 5.6$ и свидетельство воздействия земной коры на приземную атмосферу во время его подготовки. Физическим агентом, оказавшим воздействие, были радон и торон. Более сильный выход этих эманаций из земли усиливает ионизацию приземного воздуха. Это сопровождается известным в атмосферном электричестве появлением при хорошей погоде отрицательного объемного заряда, который уменьшает электрическое поле.

Заключение

Предложена схема образования совместного возмущения геоакустического, эманационного и атмосферного электрического полей у границы земная кора — атмосфера перед землетрясением при наличии в пункте наблюдений приповерхностных осадочных пород и их растяжении. Впервые проведена одновременная регистрация этих полей и обнаружено их совместное аномальное возмущение. Оно наблюдалось за 13 суток перед землетрясением с магнитудой $M_w = 5.6$ на расстоянии 140 км от эпицентра. Обнаруженное возмущение можно рассматривать как комплексный краткосрочный предвестник данного землетрясения и свидетельство воздействия земной коры на приземную атмосферу во время его подготовки.

Список литературы

- [1] Адушкин В. В., Спивак А. А., “Приповерхностная геофизика: Комплексные исследования литосферно-атмосферных взаимодействий в окружающей среде”, *Физика Земли*, 2012, № 3, 3 – 21, [English transl.: Adushkin V. V., Spivak A. A. “Near-surface geophysics: Complex investigations of the lithosphere-atmosphere interactions”, *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, 48:3 (2012), 181–198].
- [2] Соболев Г. А., Пономарев А. В., *Физика землетрясений и предвестники*, Наука, М., 2003, 270 с., [Sobolev G. A., Ponomarev A. V., *Fizika zemletryaseniy i predvestniki* [Earthquakes physics and precursors], Nauka, Moskva, 2003, 270 p. (in Russian)].
- [3] Киссин И. Г., *Флюиды в земной коре: Геофизические и тектонические аспекты*, Наука, М., 2015, 328 с., [Kissin I. G., *Flyuidy v zemnoy kore: Geofizicheskie i tektonicheskie aspekty* [Fluids in the earth’s crust: Geophysical and tectonic aspects.], Nauka, Moskva, 2015, 328 p.,(in Russian)].
- [4] Hoppel W. A., “Theory of the electrode effect”, *J. Atmos. Terr. Phys.*, **29**:6 (1967), 709–721.
- [5] Kulkarni M., Kamra A. K., “Vertical profiles of atmospheric electric parameters close to ground”, *J. Geophys. Res.*, **106**:D22 (2001), 28209–28221.
- [6] Руленко О. П., Марапулец Ю. В., Кузьмин Ю. Д., “О причине одновременного появления возмущений атмосферного электрического поля и высокочастотной геоакустической

- эмиссии при сейсмотектоническом процессе”, *Доклады Академии Наук*, **461**:3 (2015), 333–337, [English transl.: Rulenko O. P., Marapulets Yu. V., Kuzmin Yu. D., “The reason for synchronous disturbances in the atmospheric electric field and high-frequency geoacoustic emission during the seismotectonic process”, *Doklady Earth Sciences*, **461**:1 (2015), 307–311].
- [7] 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].
- [8] Choudhury A., Guha A., Kumar De B., Roy R., “A statistical study on precursory effects of earthquakes observed through the atmospheric vertical electric field in northeast India”, *Annals of Geophysics*, **56**:3 (2013), 331–340.
- [9] Kachakhidze N., Kachakhidze M., Kereselidze Z., Ramishvili G., “Specific variations of the atmospheric electric field potential gradient as a possible precursor of Caucasus earthquakes”, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, **9** (2009), 1221–1226.
- [10] Спивак А. А., “Особенности геофизических полей в разломных зонах”, *Физика Земли*, 2010, №4, 55–66, [English transl.: Spivak A. A., “The specific features of geophysical fields in the fault zones”, *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, **46**:4 (2010), 327–338].
- [11] Yang T. F., Walia V., Chyi L. L. et al., “Variations of soil radon and thoron concentrations in a fault zone and prospective earthquakes in SW Taiwan”, *Radiation Measurements*, **40** (2005), 496–502.
- [12] Guedalia D., Laurent J - L., Fontan J. et al., “A study of radon 220 emanation from soils”, *J. Geophys. Res.*, **75**:2 (1970), 357–369.
- [13] Абдувалиев А. К. и др., “Особенности хода во времени содержания радона в подпочвенной атмосфере в сейсмически активных зонах Западной Ферганы перед землетрясениями 18 X и 11 XII (Назарбекским) 1980 г.”, *Доклады Академии Наук СССР*, **271**:1 (1983), 72–75, [Abduvaliev A. K. et al., “Osobennosti khoda vo vremeni sodержaniya radona v podpochvennoy atmosfere v seysmicheski aktivnykh zonakh Zapadnoy Fergany pered zemletryasenyami 18 X i 11 XII (Nazarbekskim) 1980 g.” [Progress features of the content of radon in the subsoil atmosphere in seismically active zones of the Western Fergana before earthquakes 18 X and 11 XII (Nazarbekyan) 1980], *Doklady Akademii Nauk SSSR*, **271**:1 (1983), 72–75, (in Russian)].

Поступила в редакцию / Original article submitted: 25.06.2016