

Совместное возмущение геоакустического, эманационного и атмосферного электрического полей у границы земная кора – атмосфера перед землетрясением

РУЛЕНКО О. П.^{1,2}, МАРПУЛЕЦ Ю. В.², КУЗЬМИН Ю. Д.³, СОЛОДЧУК А. А.²

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН г. Петропавловск-Камчатский, Россия

²Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН
с. Паратунка, Камчатский край, Россия

³Камчатский филиал Геофизической службы РАН г. Петропавловск-Камчатский,
Россия

e-mail: rulenko@kscnet.ru marpl@ikir.ru kuzy@emsd.ru

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, 2]. Составной частью взаимодействия твердой и газообразной геосферных оболочек является воздействие литосферы на атмосферу. Оно проявляется, в частности, в аномальных изменениях геофизических полей в приземной атмосфере в результате геодинамических процессов в земной коре. Наиболее интенсивно это воздействие происходит в сейсмоактивных регионах на заключительной стадии подготовки землетрясений [3-5 и др.]. Исследование литосферно-атмосферного воздействия при сейсмическом процессе следует отнести к интенсивно развивающемуся новому разделу науки "Приповерхностная геофизика предметом изучения которого являются межгеосферные взаимодействия на границе земная кора – атмосфера [2, 6].

Среди приповерхностных полей заслуживает внимания рассмотрение совместного поведения перед землетрясениями геоакустического, эманационного и атмосферного электрического поля. К настоящему времени многими исследователями¹ обнаружены предсейсмические возмущения этих трех разных по природе и в разных средах полей, однако их одновременная регистрация не проводилась. Анализ возмущений различных полей улучшает надежность выделения предвестников землетрясений и может служить основанием при изучении процесса их подготовки [7, 8].

На рис. 1 представлена схема образования совместных предсейсмических возмущений рассматриваемых полей при наличии в пункте наблюдений приповерхностных осадочных пород и их растяжении. Она составлена авторами на основании имеющихся в мировой литературе результатов теоретических исследований и натуральных наблюдений*. Эти возмущения, 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. Одновременные возмущения высокочастотной геоакустической эмиссии и атмосферного электрического поля у поверхности земли при растяжении таких пород обнаружены в работе [9].

Растяжение осадочных пород, имеющих полидисперсную флюидонасыщенную пористую структуру малой прочности, сопровождается относительными микросмещениями

¹ Из-за ограниченного объема доклада литературные источники не приводятся.

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, что усиливает ионизацию приземного воздуха. При хорошей погоде это сопровождается появлением у земли в слое воздуха толщиной от десятых долей метра до нескольких метров отрицательного электрического заряда, плотность которого может достигать больших значений. Вблизи такого заряда, и особенно ниже его, будет уменьшаться нормальное атмосферное электрическое поле и даже изменяться знак ([10] – краткий обзор).

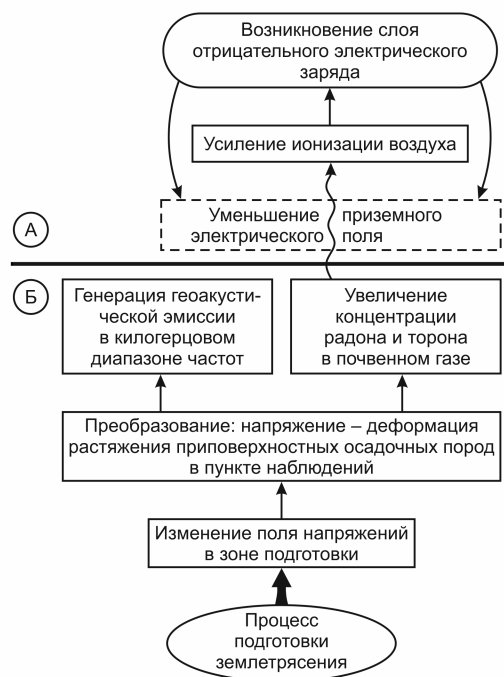


Рис. 1. Схема образования совместных предсейсмических возмущений геоакустического, эманационного и атмосферного электрического полей у границы земная кора – атмосфера. А – приземный воздух, Б – приповерхностные осадочные породы.

Наблюдения и результаты

В августе – октябре 2012 г. в пункте "Карымшина" ИКИР ДВО РАН (52.83°N, 158.13°E) 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 [10]. 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 ГС РАН (<http://emsd.ru>).

На рис. 2 представлены 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 восьми часов. Уменьшение электрического поля, увеличение геоакустической эмиссии в трех точках измерений, образующих треугольник со сторонами 10–35 м, и увеличение объемной

активности эманаций происходили при спокойной погоде (отсутствовал дождь, сильный и умеренный ветер, слабо менялось атмосферное давление, см. рис. 3). За период наблюдений, равный 52 суткам, увеличения геоакустической эмиссии в трех точках и близкого во времени уменьшения электрического поля с изменением знака при такой погоде больше не было. Все это говорит о том, что возмущения полей имели не метеорологическое происхождение.

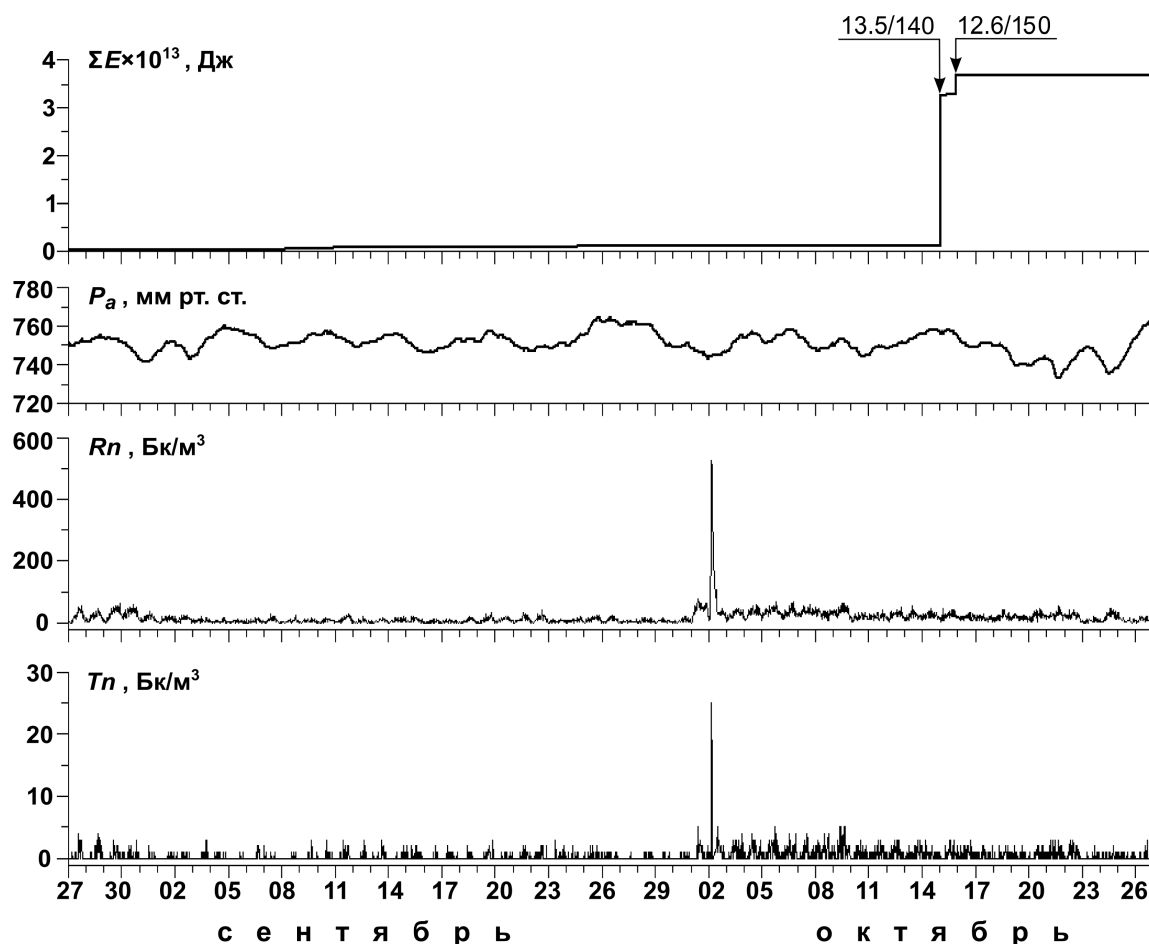


Рис. 2. График накопления энергии ΣE землетрясений с $K_s \geq 9.0$, произошедших в области выборки, вариации атмосферного давления P_a , объемной активности радона Rn и торона Tn во время наблюдений. Лево́й стрелкой отмечен момент главного землетрясения 15 октября, правой – его самый сильный афтершок.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

Аномальные возмущения исследуемых полей наблюдались за 13 суток перед землетрясением с $K_s = 13.5$, произошедшим 15 октября в 01 ч 19 мин UTC в 140 км от пункта "Карымшина" и имевшим моментную магнитуду $M_w = 5.6$ (каталог NEIC, <http://earthquake.usgs.gov>). Это землетрясение сопровождалось афтершоками, самый сильный из них был 15 октября в 22 ч 45 мин. Он имел $K_s = 12.6$ и заметно отразился на графике накопления сейсмической энергии (см. рис. 2).

В 120 м от площадки, где проводились наблюдения, находится скважина № 99-8 Камчатского филиала ГС 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.

Пункт "Карымшина" находится в зоне пересечения разноранговых тектонических разломов. Разломные зоны характеризуются повышенной тензочувствительностью различных полей и их более сильными вариациями [11], а также более сильными возмущениями полей перед землетрясениями [8]. В зоне активного разлома на Тайване [12] зарегистрированы одновременные увеличения Rn и Tn в почвенном газе перед землетрясениями с $R < 150$ км и магнитудой $M_L \geq 4.5$, которые возникали обычно за 1–20 суток и имели наименьшую длительность 5–7 часов. С этими результатами хорошо согласуются полученные нами данные. Теоретический радиус зоны проявления предвестников по деформациям земной поверхности $r = e^M$ (км) [13] равен для землетрясения 15 октября 270 км и почти в два раза больше эпицентрального расстояния до пункта "Карымшина". Поэтому, с учетом структурно-тектонического местонахождения пункта, предсейсмические деформации приповерхностных осадочных пород и вызванные ими аномальные возмущения регистрируемых полей вполне реальны.

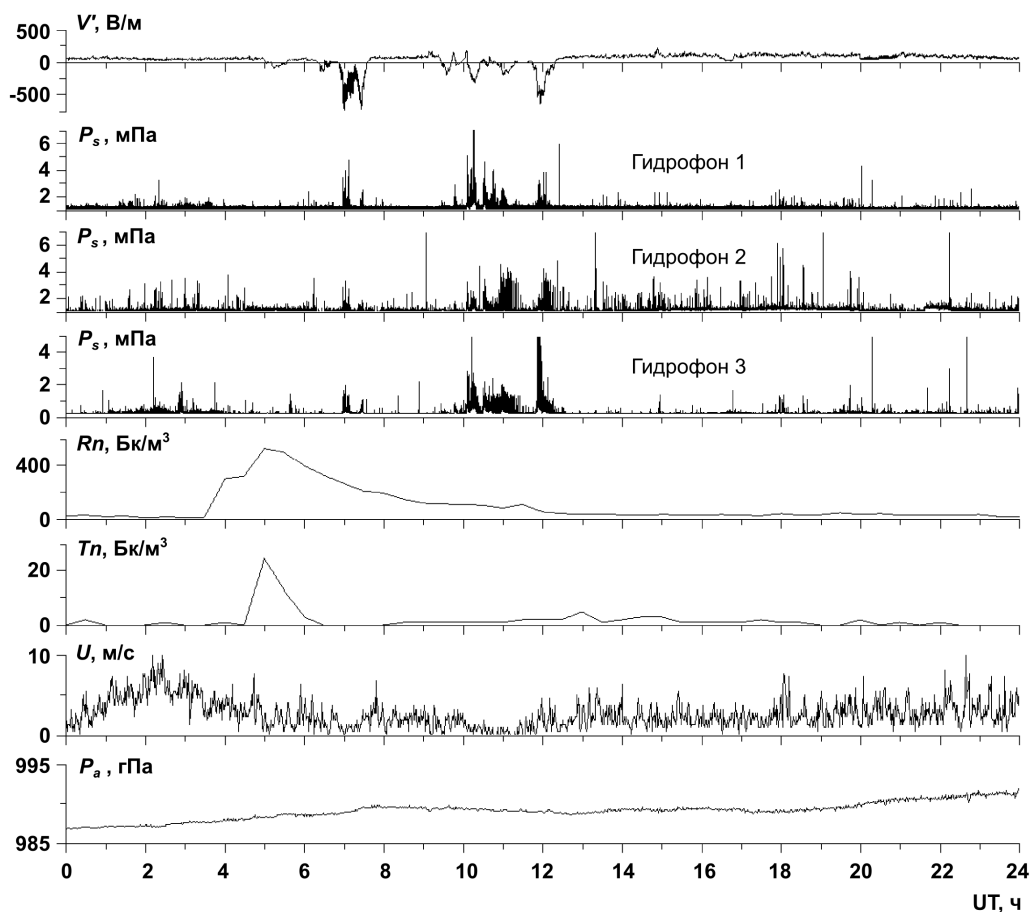


Рис. 3. Вариации градиента потенциала V' атмосферного электрического поля, акустического давления P_s в трех точках измерений, объемной активности эманаций, скорости ветра U на высоте 8 м от земли и атмосферного давления P_a 2 октября 2012 г.

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. Согласно работе [14], при поступлении в атмосферу торон выходит из слоя почвы толщиной 6 см, при этом ее первые 2 см дают до 75% эманации.

Следовательно, аномальное увеличение торона было вызвано процессом, протекавшим в самом поверхностном слое грунта, а генерация радона происходила в более мощном слое приповерхностных осадочных пород. Наиболее вероятной причиной этого было их кратковременное растяжение.

Таким образом, предложенная нами схема (см. рис. 1) образования совместных предсейсмических возмущений трех приповерхностных полей (геоакустического, эманационного и атмосферного электрического) позволяет объяснить их аномальные возмущения. Сам факт обнаружения этих возмущений, в свою очередь, подтверждает возможность реализации данной схемы.

Заключение

Предложена схема образования совместных предсейсмических возмущений геоакустического, эманационного и атмосферного электрического полей у границы земная кора – атмосфера при наличии в пункте наблюдений приповерхностных осадочных пород и их растяжении. Впервые проведена одновременная регистрация этих полей и обнаружены их совместные аномальные возмущения. Они наблюдались за 13 суток перед землетрясением с магнитудой $M_w = 5.6$ на расстоянии 140 км от эпицентра и подтверждают возможность реализации предложенной схемы. Обнаруженные возмущения можно рассматривать как комплексный краткосрочный предвестник произошедшего землетрясения и свидетельство воздействия земной коры на приземную атмосферу во время его подготовки. Физическим агентом, оказавшим воздействие, были радон и торон. Более сильное поступление этих эманаций из земли усиливает ионизацию приземного воздуха, что сопровождается появлением при хорошей погоде отрицательного объемного заряда и уменьшением электрического поля.

Литература

1. Адушкин В.В., Спивак А.А., Кишкина С.Б. и др. Динамические процессы в системе взаимодействующих геосфер на границе земная кора–атмосфера // Физика Земли. – 2006. – № 7. – С. 34-51.
2. Адушкин В.В., Спивак А.А. Приповерхностная геофизика: Комплексные исследования литосферно-атмосферных взаимодействий в окружающей среде // Физика Земли. – 2012. – № 3. – С. 3-21.
3. Войтов Г.И., Добровольский И.П. Химические и изотопно-углеродные нестабильности потоков природных газов в сейсмически активных регионах // Физика Земли. – 1994. – № 3. – С. 20-31.
4. Милькис М.Р. Метеорологические предвестники сильных землетрясений // Физика Земли. – 1986. – № 3. – С. 36-47.
5. Сальман А.Г., Тронин А.А. Вариации потока уходящего инфракрасного излучения Земли в сейсмоактивных районах Средней Азии // Физика Земли. – 1990. – № 7. – С. 67-69.
6. Спивак А.А. Приповерхностная геофизика и взаимодействие геосфер // Динамические процессы во взаимодействующих геосферах. Сб. научных трудов ИДГ РАН. – М.: ГЕОС, 2006. – С. 186-195.
7. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. – М.: Наука, 2003. 270 с.
8. Киссин И.Г. Флюиды в земной коре : Геофизические и тектонические аспекты. – М.: Наука, 2015. 328 с.
9. Марापалец Ю.В., Руленко О.П., Ларионов И.А., Мищенко М.А. Одновременный отклик высокочастотной геоакустической эмиссии и атмосферного электрического поля

на деформирование приповерхностных осадочных пород // ДАН. – 2011. – Т. 440. – № 3. – С. 403-406.

10. Руленко О.П., Марапулец Ю.В., Кузьмин Ю.Д. О причине одновременного появления возмущений атмосферного электрического поля и высокочастотной геоакустической эмиссии при сеймотектоническом процессе // ДАН. – 2015. – Т. 461. – № 3. – С. 333-337.

11. Спивак А.А. Особенности геофизических полей в разломных зонах // Физика Земли. – 2010. – № 4. – С. 55-66.

12. 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. – 2005. – V. 40. – P. 496-502.

13. Добровольский И.П. Теория подготовки тектонического землетрясения. – М.: ИФЗ АН СССР, 1991. 217 с.

14. Guedalia D., Laurent J-L., Fontan J. et al. A study of radon 220 emanation from soils // J. Geophys. Res. – 1970. – V. 75. – № 2. P. 357-369.