

Увеличение объемной активности радона и торона на Камчатке перед катастрофическим землетрясением в Японии 11 марта 2011 г.

Руленко О.П.¹, Кузьмин Ю.Д.²

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Россия

²Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Россия

rulenko@kscnet.ru, kuzy@emsd.ru

При распаде долгоживущих радиоактивных элементов урана-238 и тория-232, которые широко распространены в земной коре, генерируются радиоактивные эманации радон и торон. Обладая свойствами инертного газа, они мигрируют к земной поверхности и поступают в атмосферу [1, 2]. Содержание эманаций в почвенном газе зависит, в частности, от напряженно-деформируемого состояния пород. Это позволяет использовать их (особенно радон) как индикатор геодинамических процессов [3, 4] и интенсивности межгеосферных взаимодействий на границе земная кора - атмосфера [5], а также для структурного картирования геологической среды [6, 7].

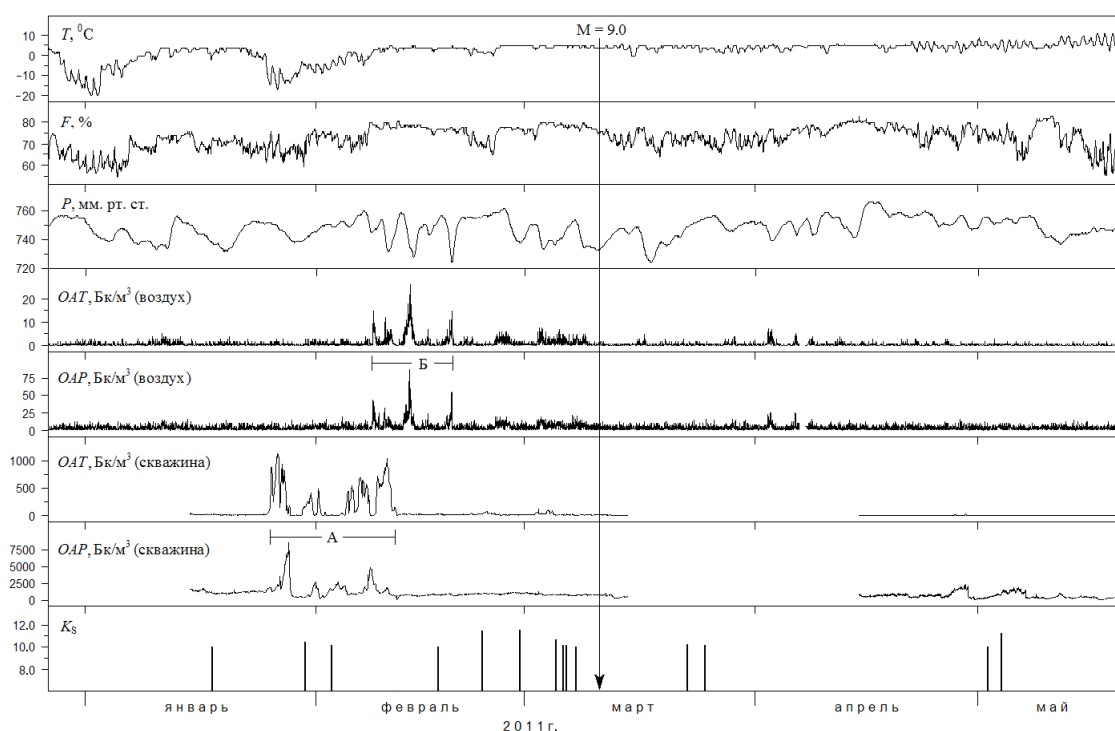


Рис. 1. Температура воздуха T , его относительная влажность F , атмосферное давление P , объемная активность торона ОАТ и радона ОАР в воздухе у поверхности земли и в скважине. Внизу отмечены землетрясения с энергетическим классом $K_s \geq 10.0$, произошедшие на расстоянии до 200 км от пункта "Карымшина" (данные КФ ГС РАН). Вертикальная стрелка – момент землетрясения в Японии

В настоящее время широко распространены исследования вариаций радона в почвенном газе перед землетрясениями. Обнаружено, в частности, что изменения его объемной активности начинаются за 90-100 суток до землетрясения и связаны с деформациями пород [4], а аномальное поведение радона зарегистрировано даже на расстоянии 3400 км

от эпицентра готовящегося события с магнитудой $M = 7.3$ [8]. При поступлении в атмосферу радон и торон смешиваются с воздухом. В результате, уменьшается их концентрация, и затрудняются измерения. Вероятно, поэтому отсутствуют работы по обнаружению предсейсмических возмущений радона и торона в атмосфере. Авторам известен только один случай регистрации аномального поведения радона в воздухе перед землетрясением в Японии 17 января 1995 г. с $M = 6.9$ [9]. Одновременные измерения радона и торона в почвенном газе и в приземном воздухе перед землетрясениями не проводились.

С 27 декабря 2010 г. по 20 мая 2011 г. в пункте "Карымшина" Камчатского филиала ГС РАН (52.814°N , 158.105°E), находящемся в районе Верхне-Паратунской гидротермальной системы, измерялась объемная активность радона ОАР и торона ОАТ. Использовалась методика измерений с откачкой газа из сухой герметизированной скважины, позволяющая значительно уменьшить влияние метеорологических величин на поведение эманаций [4]. Обсадной трубой была открытая снизу поливиниловая труба диаметром 0.1 и длиной 4 м, в которой на расстоянии 1-3.9 м от верхнего конца сделан щелевой фильтр. Газ отбирался из трубы с глубины 0.5 м. Объемная активность радона и торона измерялась также на высоте 0.05 м от поверхности земли в 1 м от обсадной трубы скважины в деревянной будке. Для регистрации ОАР и ОАТ в скважине использовался автоматизированный радиометр РРА-01М-03, а в воздухе возле трубы скважины – СРС-1. Интервал времени между измерениями был 1 и 0.5 часа, соответственно. С помощью климатической камеры радиометра СРС-1 измерялись атмосферное давление, температура и относительная влажность засасываемого у земли воздуха.

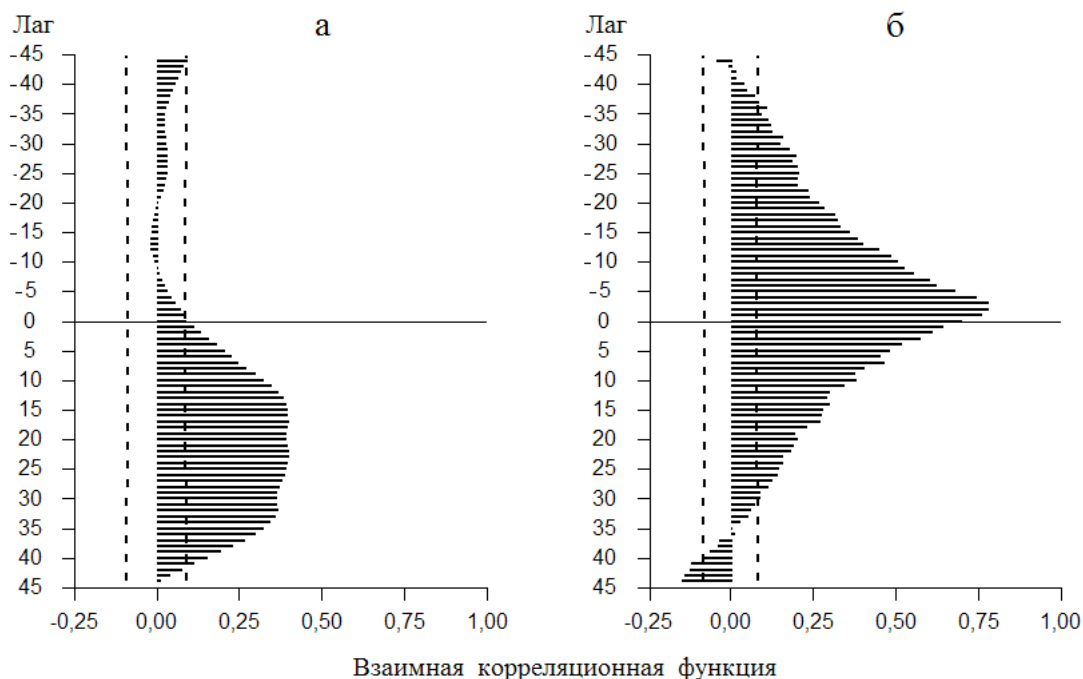


Рис. 2. Взаимная корреляционная функция для значений ОАР и ОАТ во время аномалии в скважине (а) и в воздухе у поверхности земли (б). Сдвигаемым рядом является ОАТ. Штриховые линии – доверительные границы на уровне значимости 0.05.

На рис. 1 представлены временные ряды измеренных величин. С 14^{h} 25 января UTC по 21^{h} 11 февраля наблюдались аномальные увеличения ОАР и ОАТ в скважине (аномалия А), а с 15^{h} 8 февраля по 9^{h} 19 февраля – в воздухе возле трубы скважины (аномалия Б). Радон-тороновая аномалия в скважине (аномалия А) началась за 44.7 суток до ка-

тастрофического землетрясения в Японии 11 марта 2011 г. с $M = 9.0$. В это же время, примерно за 45 суток до него, на станции "Петропавловск находящейся в 43 км северо-восточнее пункта "Карымшина значительно увеличилась интенсивность низкочастотного сейсмического шума в минутном диапазоне периодов [10]. Радиус зоны проявления предвестников по деформации земной поверхности, известный как $R = e^M$ [11], равен для данного землетрясения 8100 км. Пункт "Карымшина" находится в 2000 км от его эпицентра и вместе со станцией "Петропавловск" уверенно попадает в эту зону. Перед аномалией и во время аномалии не было усиления локальной сейсмичности, поскольку на расстоянии до 200 км от пункта "Карымшина" произошло лишь три слабых землетрясения с $K_s \leq 10.5$. В это время не было также кратковременных сильных уменьшений атмосферного давления (см. рис. 1).

На рис. 2а представлена взаимная корреляционная функция (ВКФ) для значений ОАР и ОАТ во время аномалии в скважине. Максимальные значения ВКФ наблюдаются на положительных лагах в интервале 12-32 часа и статистически значимы. Разные увеличения ОАТ опережали на разное время увеличения ОАР (см. рис. 1), что обусловило появление интервала небольших максимальных значений ВКФ.

Таблица 1. Объемная активность радона и торона

Объемная активность	P		T		F	
	r_s	p	r_s	p	r_s	p
ОАР	-0.34	< 0.001	0.06	0.18	0.26	< 0.001
ОАТ	-0.41	< 0.001	0.22	< 0.001	0.25	< 0.001

Радон-тороновая аномалия в воздухе (аномалия Б) началась во время окончания аномалии в скважине, когда появились сильные вариации атмосферного давления, связанные с прохождением циклонов (см. рис. 1). В таблице представлены оценки коэффициента ранговой корреляции Спирмена r_s и его уровня значимости p между объемной активностью эманаций и атмосферным давлением P , температурой воздуха T , его относительной влажностью F . Во всех случаях число пар значений коррелируемых величин равно 517.

Как видно из таблицы, самая сильная корреляция наблюдается между ОАР, ОАТ и атмосферным давлением P . Она статистически высокозначимая и отрицательная по знаку. Наличие этой корреляции объясняется увеличением концентрации радона и торона в приземном воздухе в результате отсоса газа из почвы при уменьшении атмосферного давления. При его увеличении воздух поступает в капилляры почвы и вытесняет вглубь богатый эманациями газ [12]. ВКФ для значений ОАР и ОАТ во время аномалии имеет хорошо выраженный сильный максимум (рис. 2б). Он наблюдается на отрицательном лаге 1.0-1.5 часа. Следовательно, увеличения ОАТ немного отставали от увеличений ОАР, но это отставание несущественно. Наличие сильного максимума ВКФ вблизи нулевого лага свидетельствует об общей основной причине изменений ОАР и ОАТ. Такой причиной, в нашем случае, являются сильные вариации атмосферного давления синоптического масштаба.

За период измерений, равный почти 5 месяцев, есть другие случаи низкого атмосферного давления, в том числе его очень сильное уменьшение 18 марта (см. рис. 1). Однако увеличений объемной активности радона и торона в воздухе кроме аномалии Б нет. Это говорит о том, что радон-тороновая аномалия в воздухе генетически связана с радон-тороновой аномалией в скважине. Аномалия в скважине появилась в результате увеличения содержания радона и торона в окружающих осадочных породах. Очевидно, что

содержание эманаций увеличилось также в почве возле скважины, но поступление их в воздух стало возможным только при появлении сильных уменьшений атмосферного давления. Отметим, что для рассматриваемого землетрясения в Японии косейсмический и постсейсмический эффекты в радон-тороновом поле отсутствуют (см. рис. 1).

Таким образом, 25 января-11 февраля 2011 г. в пункте "Карымшина" зарегистрирована радон-тороновая аномалия в скважине, а 8-19 февраля – в воздухе у поверхности земли возле скважины. Вторая аномалия генетически связана с первой, но появилась в результате сильных вариаций атмосферного давления синоптического масштаба. Вместе с увеличением в это время интенсивности низкочастотного сейсмического шума на близко расположенной станции "Петропавловск"[10], обе аномалии можно рассматривать как краткосрочный предвестник катастрофического землетрясения в Японии 11 марта 2011 г.

Литература

1. *Ларионов В.В.* Ядерная геология и геофизика. М.: ГНТИ нефт. и горно-топливной литературы. – 1963. – 351 с.
2. *Юнге Х.* Химический состав и радиоактивность атмосферы. М.: Мир. – 1965. – 424 с.
3. *Рудаков В.П.* Эманационный мониторинг геосред и процессов. М.: Научный мир. – 2009. – 176 с.
4. *Уткин В.И., Юрков А.К.* Радон как индикатор геодинамических процессов // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51. – № 2. – С. 277-286.
5. *Спивак А.А., Кожухов С.А., Сухоруков М.В., Харламов В.А.* Эманация радона как индикатор интенсивности межгеосферных взаимодействий на границе земная кора - атмосфера // Физика Земли. – 2009. – № 2. – С. 34-48.
6. *Рудаков В.П., Войтов Г.И., Курков О.А., Чайка В.П.* Тороновое поле почвенной и подпочвенной атмосферы нефтегазовых структур (на примере Осташковичского нефтяного месторождения) // ДАН. – 1995. – Т. 343. – № 3. – С. 389-392.
7. *Дехандшуттер Б., Бобров В.А., Хус Р. и др.* Радоновые аномалии как показатель активности Западно-Саянского разлома в северной части Телецкого озера (Горный Алтай) // Геология и геофизика. – 2002. – Т. 43. – № 2. – С. 128-141.
8. *Рудаков В.П.* Сейсмоэманационные предвестники Алтайского 27 сентября 2003 г. землетрясения на Русской платформе (на территории Москвы) // Геохимия. – 2005. – № 1. – С. 101-104.
9. *Yasuoka Y., Igarashi G., Ishikawa T. et al.* Evidence of precursor phenomena in the Kobe earthquake obtained from atmospheric radon concentration // Applied Geochemistry. – 2006. – V. 21. – P. 1064-1072.
10. *Соболев Г.А.* Низкочастотный сейсмический шум перед землетрясением Тохоку 11 марта 2011 г. с магнитудой 9 // Физика Земли. – 2011. – № 12. – С. 11-22.
11. *Добровольский И.П.* Теория подготовки тектонического землетрясения. М.: ИФЗ АН СССР. – 1991. – 217 с.
12. *Стыро Б.И.* Вопросы ядерной метеорологии. Вильнюс: Институт геологии и географии АН Литовской ССР. – 1959. – 418 с.

Increase of radon and thoron volumetric activity at Kamchatka before the catastrophic earthquake in Japan on March 11, 2011

Rulenko O.P.¹, Kuzmin Yu.D.²

¹ *Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Russia*

² *Kamchatka Branch of Geophysical Survey RAS, Russia*

The paper presents the results of measurements of radon Rn and thoron Tn volumetric activity at Karymshina observation point (52.814⁰N, 158.105⁰E) that is located in the area of Verkhnyaya-Paratunka hydrothermal system in Kamchatka. From December 27, 2010 to May 20, 2011 the measurements were carried out in the 4-meter deep dry perforated borehole and at the height of 5 cm above the ground surface and 1 meter from the borehole pipe in a wooden cabin. Atmospheric pressure, air temperature and relative humidity in the cabin were measured by a climatic chamber of radiometer. From January 25 to February 11 large increases of Rn and Tn values relative to the background in the borehole were registered and from February 8 to 19 the Rn and Tn values increased near the borehole pipe. The increases of Rn and Tn values in the air occurred during the changes in atmospheric pressure of synoptic scale and had highly significant negative correlation with these changes. These variations of atmospheric pressure were absent during Rn and Tn disturbances in the borehole. There were no other Rn and Tn disturbances in the borehole and in the air near the borehole pipe within the period of measurements. Analysis of $Ks \geq 10.0$ earthquakes occurred at the distance of 200 km from Karymshina observation point revealed that local seismicity did not increase during Rn and Tn disturbances. Rn and Tn disturbances in the borehole appeared 44.7 days before the earthquake on March 11, 2011 in Japan with magnitude of 9.0, the epicenter of which was 2000 km from Karymshina observation point. According to the data of Sobolev G.A. [Earth Physics, 2011. N 12. P. 11-22], Petropavlovsk seismic observatory, that is 43 km from Karymshina observation point, recorded repeatedly the increase of intensity of low frequency seismic noise in a minute range of periods 1.5 month (45 days) before this earthquake.

So, we can assume that anomalous disturbances of radon and thoron volumetric activity in the borehole could be associated with the preparation of the catastrophic earthquake in Japan and the increases of their activity in the air near the borehole resulted from the decreases of the atmospheric pressure during cyclones.