

ОТРАЖЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ В ПОЛЕ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ РАДОНА

Козлова И.А., Юрков А.К. – Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. В статье рассмотрены некоторые закономерности отражения сейсмических событий (горные удары и землетрясения) в поле объемной активности радона, одним из объяснений которых является выделение сорбированного радона со стенок порового пространства под воздействием упругих колебаний. Приведена расчетная модель «возможных» максимальных величин аномалии объемной активности радона.

Радон, сейсмические события, сорбция, геологическая среда.

REFLECTION CONSECUTIVE SEISMIC EVENTS IN THE FIELD OF RADON VOLUME ACTIVITY

Kozlova I.A., Yurkov A.K. – Institute of Geophysics, UB of RAS, Yekaterinburg

Abstract. In article some regularities of reflection of seismic events (mountain blows and earthquakes) in the field of volume activity of radon are considered. One of explanations which release of sorbed radon from pore space walls as a result of elastic fluctuations is. The calculated model of the "possible" anomalies maximum values of volume activity of radon.

Radon, seismic events, sorption, geological environment.

Введение

При изучении короткопериодных изменений геодинамической обстановки достаточно широко используются измерения вариаций объемной активности почвенного радона (ОАР) (Уломов и др., 1967; King, 1980; Dubinchuki et al., 1991; Zhang et al., 1994; Wakita et al., 1995; Булашевич и др., 1996; Фирстов, Рудаков, 2003). Выбор радона обусловлен рядом присущих ему преимуществ: коротким временем жизни, что исключает «накопительный» эффект; простотой измерений объемной активности и ее зависимостью от диффузионных характеристик среды, определяемых пористостью и проницаемостью. Последние, как известно, зависят от напряженно-деформированного состояния среды. Исследования последних лет показали, что для объяснения наблюдаемых вариаций радона в ряде случаев приходится учитывать вклад сорбированного радона в измеряемую ОАР. Лабораторные и натурные эксперименты показали, что часть сорбированного радона может десорбироваться со стенок пор и трещин под воздействием упругих колебаний, переходя в свободное состояние (Уткин и др., 2008). Лабораторные эксперименты по изучению формы находде-

ния радона в поровом пространстве показали, что при изменении температуры происходят процессы сорбции-десорбции радона со стенок пор и трещин образцов глины и гранита (Козлова и др., 2012). К настоящему времени все еще нет полной уверенности в реальности механизма увеличения уровня измеряемой объемной активности радона за счет сорбированного. Выполненный в настоящей статье анализ экспериментальных данных, полученных при мониторинге напряженно-деформированного состояния верхней части земной коры, свидетельствует о вкладе сорбированного радона в измеренную величину ОАР.

Экспериментальные исследования

При непрерывном мониторинге напряженно-деформированного состояния верхней части земной коры на основе измерений объемной активности радона, было отмечено, что если горные удары или землетрясения происходят достаточно часто, то иногда амплитуда ОАР каждого последующего события может уменьшаться. При проведении работ по изучению горных ударов на шахтах СУБРа впервые был зафиксирован эффект снижения амплитуды объемной активности радона (рис. 1) (Булашевич и др., 1996).

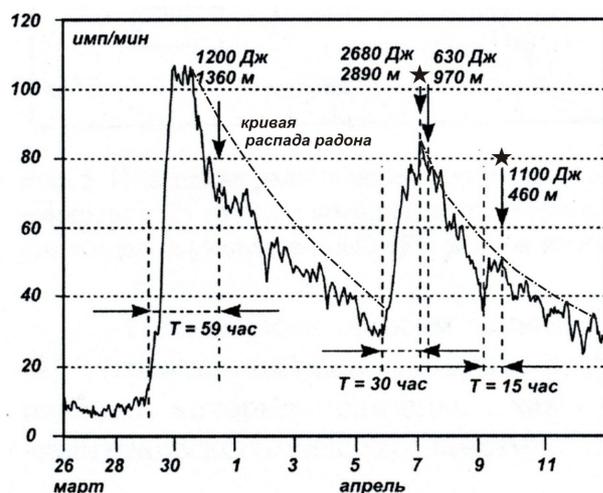


Рис. 1. Изменение объемной активности радона на шахте № 15 Северо-Уральского бокситового района (стрелками отмечены времена проявления горных ударов, звездочками — «возможное» максимальное значение аномалии объемной активности радона)

Причинами, вызывающими вариации объемной активности почвенного радона, могут быть изменение диффузионных характеристик (пористости и проницаемости) среды и/или изменение количества сорбированного радона, выделившегося под воздействием упругих колебаний в зоне расположения детектора. В случае изменения диффузионных характеристик среды, за счет увеличения ее проницаемости, более логичным было бы увеличение объемной активности радона при более сильных и близких событиях, так как они оказывают более мощное воздействие на геологическую среду.

Но на рис. 1 видно, что картина противоположная — в случае, когда более мощные и близкие события следуют с небольшим промежутком времени друг за другом, происходит уменьшение уровня объемной активности радона. Для сравнения разномасштабных горных ударов было использовано отношение энергии горного удара к расстоянию до гипоцентра, т. к. используемый при определении магнитуды землетрясений алгоритм пересчета энергии в магнитуду, на наш взгляд, не совсем правомочен из-за некорректности применения для горных ударов, используемых в формуле коэффициентов. Так, для серии сле-

дующих друг за другом горных ударов, отношение энергии к расстоянию до гипоцентра равно соответственно 0,88; 0,99 и 2,39. В то же время как изменение амплитуды объемной активности радона (ОАР) для этих событий имеет обратную зависимость.

Вероятным объяснением такого снижения может быть следующее. Накопленный за предыдущее время на поверхностях порового пространства радон частично выделился в свободную форму при первом горном ударе за счет его десорбции под воздействием упругих колебаний. Следует помнить, что свободный радон, находящийся в поровом пространстве, определяет фоновый уровень значений ОАР. Для компенсации убыли радона или его накопления до равновесного значения перед вторым горным ударом было недостаточно времени, т. к. равновесие между содержанием радия в кристаллической решетке и радоном в поровом пространстве наступает примерно через 24–28 дней. Поэтому в среде, где расположен детектор радона, было недостаточно сорбированного на стенках пор и трещин радона, чтобы обеспечить адекватный отклик на более мощное или более близкое событие, хотя оно сопровождается более сильной генерацией упругих колебаний.

В случае полной десорбции радона с поверхностей порового пространства при предыдущем событии и времени достаточным для установления равновесия между радием и радоном до следующего события, рассчитанная величина ОАР последующего события должна быть близкой максимальной амплитуде предыдущего.

Проверкой данного предположения может выступать расчетная модель:

$$A_B = A_\Phi + (A_P - A_\Phi) \times (1/1 - e^{-\lambda t}), \quad (1)$$

где A_B — «возможная» величина ОАР; A_Φ — фоновая величина ОАР; A_P — регистрируемая величина ОАР; λ — постоянная распада радона ($0,181 \text{ сутки}^{-1}$); t — время накопления радона с момента предыдущего горного удара.

Зная промежуток времени между следующими друг за другом событиями, мож-

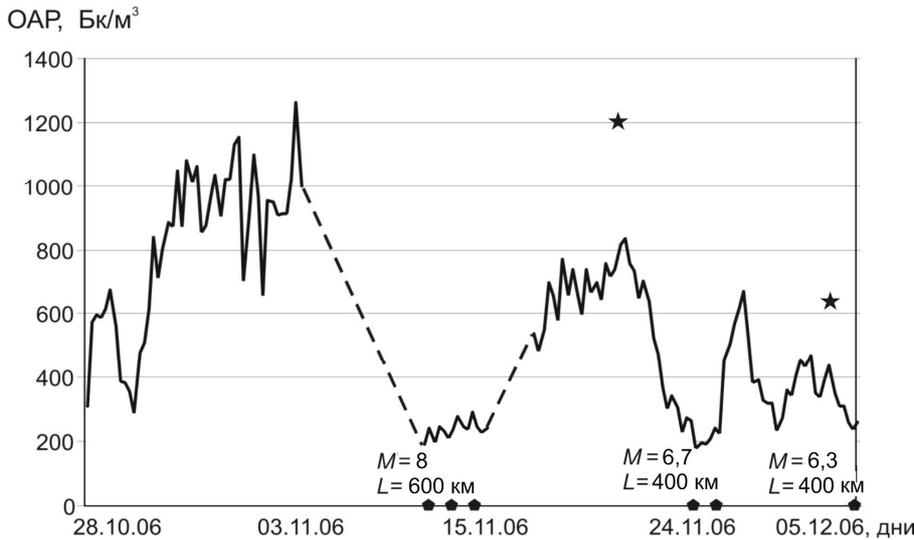


Рис. 2. Изменения объемной активности радона на станции Южно-Курильск (точками указаны сейсмические события, звездочками – «возможное» максимальное значение аномалии объемной активности радона)

но рассчитать «возможную» максимальную величину аномалии ОАР последующего события, при условии достаточного времени для накопления радона до равновесного значения. В случае полной десорбции радона с поверхностей порового пространства при предыдущем событии, рассчитанная «возможная» максимальная величина аномалии ОАР последующего события должна быть близкой максимальной амплитуде предыдущего. Для горных ударов величина ОАР приведена в условных величинах – имп/мин, без пересчета в Бк/м³. Таким образом, «возможная» максимальная величина аномалии ОАР для горного удара 07.04.93–105 имп/мин, что соответствует величине ОАР для горного удара 31.03.93. «Возможная» максимальная величина аномалии ОАР для горного удара 10.04.93 – 80 имп/мин, что также соответствует величине ОАР предыдущего горного удара (07.04.93). Необходимо отметить, что мониторинг объемной активности радона для горных ударов, представленных на рис. 1, проводился в квазидиффузионных условиях, поэтому кривая ОАР на спаде имеет плавный характер, в соответствии с законом радиоактивного распада. Уровень измеренной объемной активности радона ниже кривой распада, что может служить косвенным доказательством наличия обратной сорбции радона на стенках пор и трещин.

Изменение напряженно-деформированного состояния при подготовке текто-

нического землетрясения зависит от мощности готовящегося события и расстояния до эпицентра. При сравнении разномасштабных и разноудаленных сейсмических событий можно использовать, как было сказано выше, отношения магнитуды к логарифму эпицентрального расстояния («гидродинамический» критерий). Такой критерий успешно применяется при анализе тектонических землетрясений, отражающихся в гидродинамическом и температурных полях (Демежко и др., 2012).

На рис. 2 и 3 приведены результаты измерений объемной активности радона на Южно-Курильском геодинамическом полигоне. Измерения ОАР проводились в режиме вынужденной конвекции, за счет которого происходит быстрое удаление радона выделившегося в поровое пространство из зоны расположения детектора, и отмечается резким спадом аномалий ОАР на графиках.

На рис. 2 (Юрков и др., 2007) приведен фрагмент записи ОАР на станции Южно-Курильск (о. Кунашир) с 28.10.2006 г. по 05.12.2006 г. и тектонических событий.

«Гидродинамический» критерий для тектонических событий 15.11.06, 24.11.06 и 05.12.06 равен соответственно 2,92; 2,58 и 2,42. Амплитуды аномалий объемной активности радона для последующих событий после Симуширского землетрясения (15.11.2006) уменьшилось до 60 и 30 процентов соответственно. Хотя разница в отношениях магнитуды к логарифму рас-

стояния для тектонических событий 24.11.06 и 05.12.06 не превышает 6 %. Такое уменьшение амплитуды аномалий последующих событий удовлетворительно объясняется недостаточностью времени для достижения равновесия между содержанием радия в горной породе и содержанием радона в поровом пространстве. Выполненные расчеты по формуле (1) дали величины «возможных» максимальных аномалий ОАР для землетрясений 24.11.06 – 1200 Бк/м³ и 05.12.06 – 640 Бк/м³, что соответствует аномалиям предыдущих событий. Разрыв в записи был вызван техническими причинами, поэтому в расчетной модели были сделаны некоторые предположения. Для события 24.11.06 время рассчитывалось от 14.11.06, как для «дальнего» события (Булашевич и др., 1996). Расчет «возможной» максимальной величины аномалии ОАР для события 05.12.06 проводился с учетом предыдущей аномалии 28.11.06, магнитуда данного события меньше 4 (события, отвечающие данной аномалии в каталоге землетрясений не отмечено), а расстояние до эпицентра

сравнительно небольшое, иначе оно бы не отразилось в аномалии ОАР.

Подобная картина наблюдается и для событий, представленных на рис. 3. После тектонического события 02.02.13 с магнитудой 6,9, отразившегося в поле объемной активности радона величиной 4200 Бк/м³, следующее событие магнитудой 4,7, но более близкое, отметилось несколько меньшей амплитудой ОАР, хотя «гидродинамический» критерий (2,90) для события 09.02.13 больше, чем для землетрясения 02.02.13 (2,85). Более наглядно проявился эффект снижения амплитуды ОАР для события 16.02.13. Несмотря на то, что отношение магнитуды к логарифму расстояния близкое к предыдущим событиям (2,70), величина аномалии ОАР существенно меньше, составляет примерно 30 % от аномалий предыдущих событий. «Возможные» максимальные величины аномалии ОАР, рассчитанные по формуле (1), соответственно равны 5000 Бк/м³ (09.02.13) и 4850 Бк/м³ (16.02.13), что также соответствует величинам аномалий ОАР от предыдущих событий.

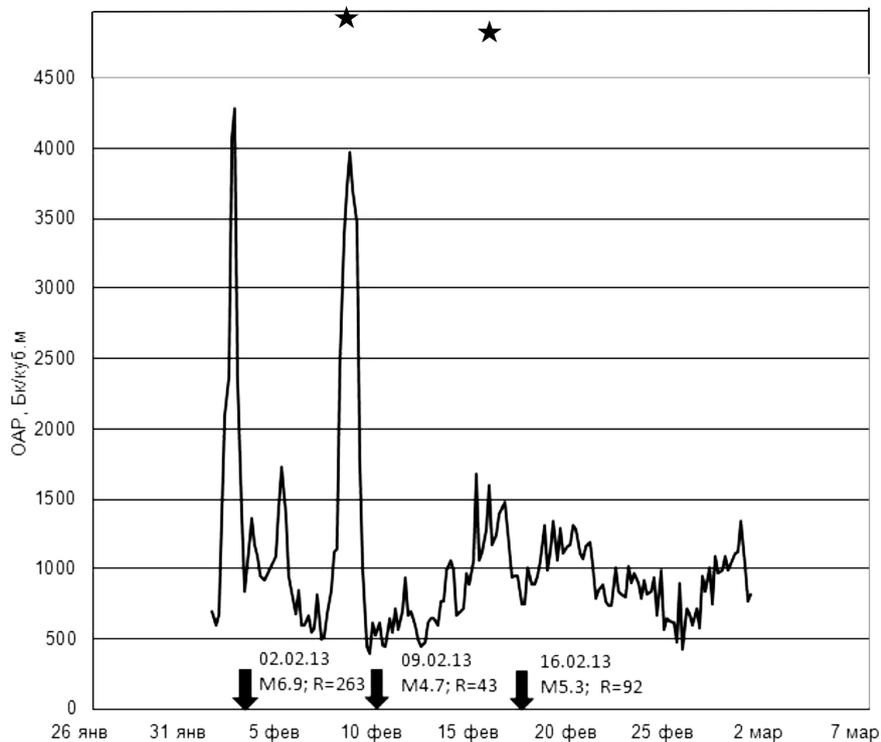


Рис. 3. Изменения объемной активности радона на станции Южно-Курильск (о. Кунашир) (стрелками указаны сейсмические события, звездочками – «возможное» максимальное значение аномалии объемной активности радона)

Выводы

Приведенные результаты отражения в поле радона последовательного ряда следующих друг за другом с небольшим временным интервалом сейсмических событий свидетельствуют о том, что наиболее вероятным механизмом, обеспечивающим повышение объемной активности радона, является его десорбция с поверхности порового пространства под воздействием упругих колебаний, возникающих при подготовке таких событий.

Уменьшение величины зарегистрированной аномалии ОАР для последующего события объясняется отсутствием равновесия между содержаниями радия в горной породе и радоном в трещинно-поровом пространстве из-за малого промежутка времени между тектоническими событиями. Выполненные расчеты «возможной» максимальной величины аномалии ОАР для последующих событий, при условии равновесия между радием и радоном, показали хорошие совпадения с величиной аномалии ОАР предыдущего события. Объяснением такого поведения объемной активности радона за счет изменения диффузионных характеристик среды не соответствует степени ее реакции на воздействие процессов подготовки сейсмических событий различного масштаба.

При изучении зависимости величины аномалии ОАР от энергетических и пространственных характеристик сейсмических событий необходимо учитывать убыль радона за счет предыдущего события, если они произошли с промежутком времени меньше времени установления радиоактивного равновесия.

Работа частично выполнена в рамках проекта № 15-2-5-32 Программы УрО РАН.

Литература

Булашевич Ю.П., Уткин В.И., Юрков А.К., Николаев В.В. Изменение концентрации радона в связи с горными ударами в глубоких шахтах // Доклады РАН. 1996. Т. 346. № 2. С. 245–248.
Демежко Д.Ю., Юрков А.К., Уткин В.И., Щапов В.А. Температурные изменения в скважине kun-1 (о. Кунашир), вызванные

землетрясением Тохоку (11.03.2011 М = 9,0) // Доклады РАН. 2012. Т. 445. № 2. С. 200–204.

Козлова И.А., Уткин В.И., Юрков А.К. Изменение эманлирующей способности образцов гранита и глины при нагревании до 450 °С // АНРИ. 2012. № 4. С. 66–70.

Уломов В.И., Мавашев Б.З. О предвестнике сильного тектонического землетрясения // ДАН СССР. 1967. Т. 176. № 2. С. 319–329.

Уткин В.И., Юрков А.К., Козлова И.А. Выделение радона из горных пород при воздействии на них упругих колебаний различного диапазона // Геофизика XXI столетия. Сборник трудов Девятого геофизического чтения им. В.В. Федынского: Тверь: ГЕРС, 2008. С. 317–320.

Фирстов П.П., Рудаков В.П. Результаты регистрации подпочвенного радона в 1997–2000 гг. на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне // Вулканология и сейсмология. 2003. № 1. С. 26–41.

Юрков А.К., Уткин В.И., Рыбин А.В., Демежко Д.Ю., Муравьев Л.А., Козлова И.А., Жарков Р.В. Отражение Курильских землетрясений 2006 года в радоновом и гидродинамическом полях на острове Кунашир // Глубинное строение. Геодинамика. Тепловое поле Земли. Интерпретация геофизических полей: Мат-лы Четвертых научных чтений памяти Ю.П. Булашевича. Екатеринбург, 2007. С. 129–131.

Dubinshuk V.T. Radon as a precursor of earthquakes // Isotopic geochemical precursors of earthquakes and volcanic eruption. Vienna. 1991. P. 37–42.

King C.-Y. Episodic radon changes in subsurface soil gas along active faults and possible relation to earthquakes // JGR. 1980. V. 85. P. 3065–3078.

Wakita H. Thermal and Hydrological signatures related to seismic events in Japan // Short term thermal and hydrological signatures related to tectonic activities. Workshop Walferdange 15–17 Nov. 1995. P. 49–64.

Zhang W., Shi Y., Zhang P. A New study item of earthquake precursors: The Escaping Gas Rn in Groundwater // Earthquakes Research in China 1994. V. 8. № 1. P. 123–127.