

УДК 581.341.2.

## МОНИТОРИНГ РАДОНА КАК ИНДИКАТОР ВОЗМОЖНОГО ТЕКТОНИЧЕСКОГО СОБЫТИЯ

© 2012 В. И. Уткин, член-корр. РАН, И. А. Козлова, к.г.-м.н.,  
А. К. Юрков, к.г.-м.н.

Институт геофизики УрО РАН, Россия, 620016, г. Екатеринбург,  
ул. Амудсена, 100, e-mail: voutkin@mail.ru

Описаны результаты исследований поведения радона (ОАР – объемной активности радона), выделяющегося из массива. Миграция радона и его выделение из массива зависят от пористости, проницаемости и трещиноватости массива. Резкое изменение прочности массива и сброс упругих напряжений за счет внешних сил (землетрясение) происходит при определенных изменениях в структуре массива, как при сжатии, так и при растяжении массива.

**Ключевые слова:** Объемная активность радона (ОАР), динамика изменения ОАР, критическое состояние массива, внешнее воздействие, разрядка напряженного состояния, землетрясение.

Пространственно-временной мониторинг радона, проведенный в 70-х – 80-х годах прошлого столетия [King Chu-Yu et al., 1991], несмотря на указанные позже недостатки, оказался не только единственным крупномасштабным экспериментом проведения радонового мониторинга, но и не оцененным и полностью исследованным экспериментом, несмотря на то, что более поздние мониторинговые измерения объемной активности радона (ОАР) [Уткин, Юрков, 1997а,б; Уткин и др., 1999, 2006; Уткин, 2000; Outkin, Kozlova, 2000; Outkin et al., 2011] подтвердили справедливость основных выводов, сделанных после изучения данных этого радонового мониторинга [King Chu-Yu et al., 1991].

Всего за период работы радонового мониторинга (1978-1981 гг.) произошло 25 событий с магнитудой от 4,5 до 5,8. Изучение диаграмм изменения ОАР в различных точках регистрации (всего 60 станций радонового мониторинга) во времени для каждого события показало полное однообразие поведения ОАР в зонах сжатия или растяжения массива. При этом эти данные подтверждались одновременным измерением поведения ОАР в нескольких точках измерения, расположенных в зонах сжатия или растяжения массива. Характерные изменения ОАР при подготовке и реализации землетрясения хорошо видны на рис. 1, где представлены пространственно-временные изменения ОАР перед землетрясением 20 января 1980 года с магнитудой 5,8. Зоны сжатия и растяжения массива определены по поведению во времени кривой ОАР (рис.1, диаграммы справа). Поведение ОАР для зон сжатия и растяжения при подготовке землетрясения совершенно различно. В зонах сжатия идет последовательное уменьшение ОАР до некоторой малой величины, после чего следует разрядка напряженного состояния массива (землетрясение). Это хорошо видно на диаграммах ОАР по станциям 43, 46, 51, 52, 58, 63.

Если станция радонового мониторинга находится в зоне сжатия массива, то изменение концентрации радона во времени представляет собой экспоненциальную кривую вида:

$$I_C = I_0 \exp(-kt), \quad (1)$$

где  $I_0$  – некоторая начальная интенсивность ОАР перед началом ее спада, который продолжается от 3 до 5 месяцев (120-150 дней);  $k$  – коэффициент уплотнения массива (название условное). Процесс сжатия оканчивается землетрясением, разрушением (изменением) структуры массива. Можно предполагать, что разрушается только структура, обеспечивающая межблочное трение, поскольку по опыту известно, что литосферные блоки остаются без изменения.

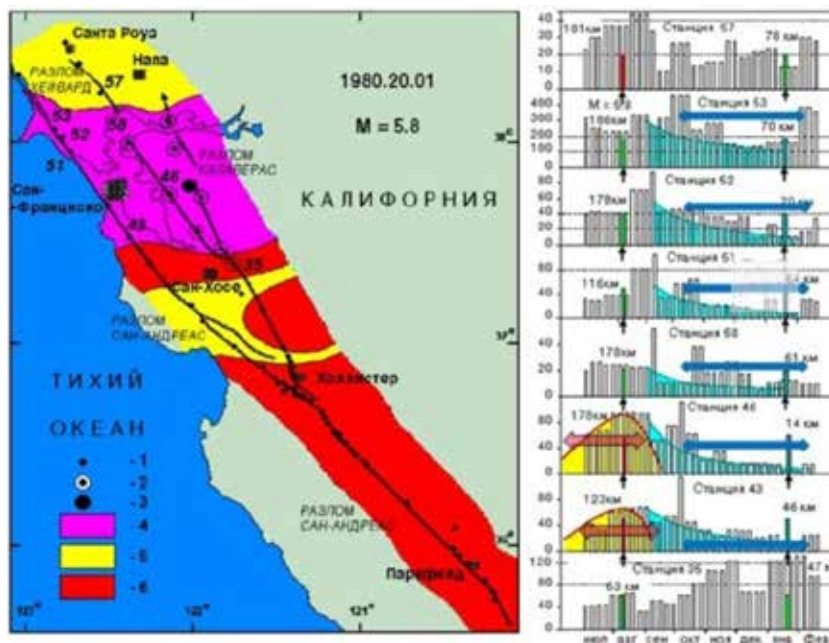


Рис.1. Схема пространственно-временных изменений ОАР при подготовке землетрясения от 05 января 1980 года (Уткин, 1998-2000): 1- расположение станций регистрации ОАР, рядом указан номер станции по [King Chi-Yu et al., 1991]; 2- станции, выбранные для анализа процесса подготовки землетрясения; 3 – эпицентр землетрясения; 4 – зоны сжатия массива; 5 – зоны растяжения массива; 6 – «нейтральные» зоны (зоны без видимых признаков сжатия или растяжения).

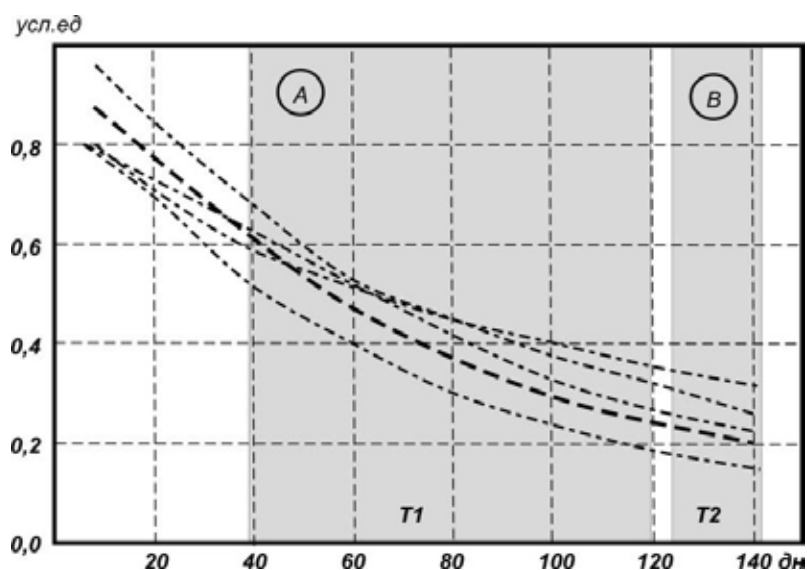


Рис.2. Изменение во времени концентрации радона (ОАР) в условиях сжатия массива: А – время T1 – зона подготовки землетрясения; В – время T2 – зона разрушения массива (тектонического землетрясения).

Формы кривой изменения ОАР при сжатии массива, наблюдаемые на различных станциях (рис. 2), отличаются между собой незначительно, но для всех кривых можно выделить две зоны: а) время подготовки землетрясения и б) время сброса напряжения (собственно землетрясения). Последняя зона характеризуется практически постоянными значениями ОАР во времени.

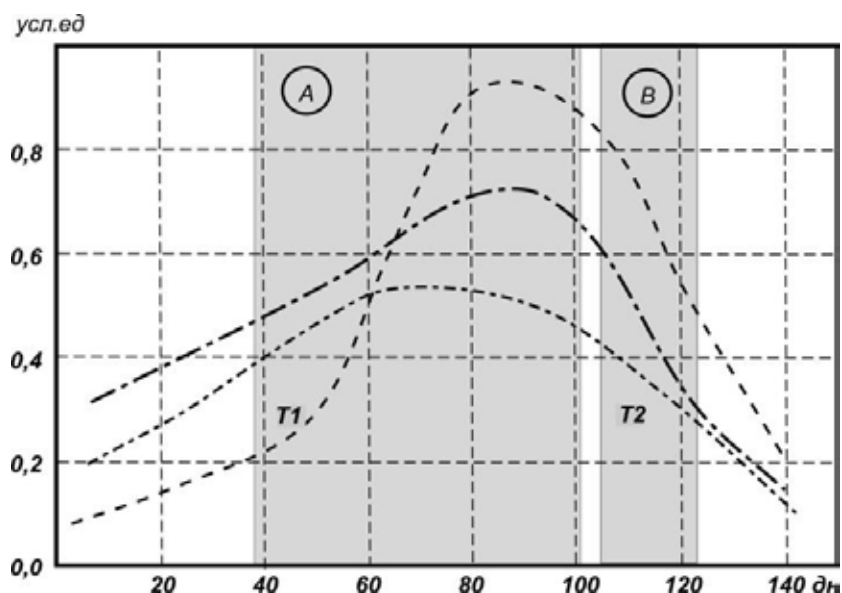


Рис.3. Изменение во времени концентрации радона (ОАР) в условиях растяжения массива: А – время  $T_1$  – зона подготовки землетрясения; В – время  $T_2$  – зона разрушения массива (тектонического землетрясения).

Если радоновая станция попадает в расположение зоны растяжения массива, то изменение концентрации радона (ОАР) имеет более сложный характер (рис. 1), который хорошо описывается формулой следующего вида:

$$I_p = I_0 m \cdot t (\exp(-k \cdot t)), \quad (2)$$

где  $I_0$  – некоторая начальная концентрация радона,  $m \cdot t$  – коэффициент увеличения концентрации радона при растяжении массива. Кривая ОАР сначала растет (увеличение концентрации радона за счет растяжения массива, увеличение его проницаемости и т. д.), достигает максимума, а затем наблюдается сброс напряженного состояния (возможное разрушение массива), увеличение объема массива и спад концентрации радона. Типичные кривые изменения концентрации радона (ОАР) для различных измерительных станций в процессе растяжения массива, полученные в результате экспериментов по мониторингу радона [King Chi-Yu, et al., 1991; Outkin, Kozlova, 2000], показаны на рис. 3. Представленные результаты позволяют сделать следующие выводы: а) финальный процесс подготовки тектонического землетрясения имеет продолжительность 120–150 дней и не зависит от типа деформации массива (сжатие или растяжение); б) размер области ожидаемого события с магнитудой около 4 составляет около 40 км; события с магнитудой 5–50 км и магнитудой 6 более 50 км.

Главное отличие данных мониторинга радона от обычных данных мониторингов другого типа (фиксированных, численных величин, например, электросо-

противления, сейсмической активности и т. д.) состоит в том, что регистрируется не просто величина ОАР в данной точке в данное время, а изменение ОАР во времени. В этом случае по поведению ОАР во времени можно судить об изменении напряженно-деформированного состояния среды (сжатие или растяжение). Наблюдаемое время подготовки землетрясения вполне достаточно, чтобы определить характер поведения ОАР и, соответственно, характер деформации литосферного блока (растяжение или сжатие). Таким образом, осуществляется непрерывный контроль за изменением напряженно-деформированного состояния среды при подготовке тектонического землетрясения. Указанные изменения наглядно наблюдаются на кривых ОАР (рис. 2 и рис. 3), полученных по данным мониторинга [King Chi-Yu et al., 1991].

Оптимальное (предельное) количество станций радонового мониторинга, которое необходимо для контроля исследуемой области, можно определить, исходя из размеров области подготовки тектонических событий. Это область радиусом 40 км для землетрясений с магнитудой около 4, радиусом 50 км для землетрясений с  $M \geq 5$  и радиусом около 50 км и более для землетрясений с  $M \geq 6$ . Таким образом, для контроля состояния литосферного блока размером 100 на 200 км при контроле сейсмического события с магнитудой 4 достаточно 10–12 станций радонового мониторинга. Для контроля событий с минимальной магнитудой равной или более 5 достаточно 6–8 станций для полигона размером 100 на 200 км. При сложном геологическом строении исследуемой области количество станций, вероятно, необходимо будет увеличить. Обязательным условием возникновения тектонического землетрясения является наличие необходимого напряжения в земной коре, которое вызывается деформированием литологического блока или литологической плиты. Достаточным условием можно считать появление некоторой внешней силы, которая спровоцирует сброс напряжения.

Предлагается методика комплексирования измерений радонового мониторинга и производной скорости вращения массива условно названа – **геодинамический мониторинг (ГДМ)**, который может использоваться для решения проблем краткосрочного и среднесрочного прогноза тектонических землетрясений при минимальном использовании данных сейсмического мониторинга для оперативного решения задач прогноза.

Преимущества геодинамического мониторинга перед сейсмическим мониторингом состоит в следующем: а) монитор радона размещен непосредственно в исследуемом блоке горных пород, что существенно повышает соотношение сигнал-шум при регистрации данных; б) сигнал радонового мониторинга позволяет судить о динамике напряженно-деформируемого состояния блока горных пород (сжатие-растяжение); в) скорость процессов динамики горных пород при подготовке землетрясения относительно невелика, что позволяет обрабатывать сигналы мониторинга в режиме реального времени.

Краткосрочный прогноз особенно крупных землетрясений целиком основан на использовании мониторинга вращения Земли: существенные «триггерующие функции» (вариации вращения Земли) сбрасывают накопленные напряжения на всей поверхности Земли, вызывая при этом крупные землетрясения. Поэтому предупреждение о крупных землетрясениях должно формироваться на основе мониторинга вариаций неоднородности вращения Земли [Уткин и др., 2012].

### Литература

1. Уткин В. И., Юрков А. К. Радон и проблема тектонических землетрясений // Вулканонология и сейсмология, 1997а, №4, с.84-92
2. Уткин В. И., Юрков А. К. Отражение сейсмических событий в поле эксхалации радона // Геофизика, М.: ЕАГО, №6, 1997б, с.50-56
3. Уткин В. И., Юрков А. К., Козлова И. А. Радон как индикатор напряженного состояния массива. / Кн. Мельниковские чтения. Пермь: Горный институт УрО РАН, 1999, с. 79-82
4. Уткин В. И. Пространственно-временной мониторинг радона и проблема среднесрочного прогноза тектонических землетрясений // Уральский геофизический вестник, № 1, Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2000, с.101-106
5. Уткин В.И., Мамыров Э., Кан М.В., Кривашев С.В., Юрков А.К., Косякин И.И., Шишканов А.Н. Мониторинг радона при изучении процесса подготовки тектонического землетрясения на Северном Тянь-Шане. // Физика Земли, 2006, №9. С.145-155.
6. Уткин В.И., Юрков А.К., Цурко И.А. Вариации неравномерного вращения Земли как триггирующий фактор сейсмичности планеты // Геология и геофизика Юга России. №1. 2012. С.3-13.
7. King Chi-Yu, Walkingstick C., Basler D. Field studies of radon in rocks, soil and water. / Gunderson L. and Wanty R. editors / U.S. Geological survey bulletin: 1991, pp. 77-133.
8. Outkin V.V., Kozlova I.F. Massif straining condition dynamics reflection in radon field // XXV General Assembly EGS, Nica, France, 2000, p.1356-1358.
9. Outkin V.I., Yurkov A.K., Klimshin A.V., Kozlova I.A. Geodynamic monitoring in real times// AGU, Institute of Geophysics of Ural's Branch of RAS. Yekaterinburg, 2011.#1203407.

## **RADON MONITORING AS INDICATOR OF POSSIBLE TECTONIC EVENT**

**V.I. Outkin, Corr. Member of RAS, I. A. Kozlova, Sc. Candidate (Geol.),  
A.K. Yurkov, Sc. Candidate (Geol.), e-mail: voutkin@mail.ru**

Results of investigations of radon behavior (radon volume activity – RVA), exhaled from massive are described. Radon migration and its exhalation are depending from porosity, permeability and rock jointing (fracture porosity) of massive. Rapid change of massive strength and elastic stresses relieving caused by extrinsic forces (earthquake) happens at specific changes in massive structure as under both compression and dilatation.

**Keywords:** radon volume activity (RVA), dynamics of RVA, critical state of massive, extrinsic impact, relieving of stresses, earthquake.