УДК 550.348.64(571/55)

ВАРИАЦИИ КОНЦЕНТРАЦИЙ РАСТВОРЕННОГО РАДОНА В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ ЮЖНОГО ПРИБАЙКАЛЬЯ И ПРОГНОЗ ВРЕМЕНИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Семенов Р.М., Лопатин М.Н.

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Институт земной коры СО РАН, e-mail: semenov@crust.irk.ru

Известно, что при формировании очагов землетрясений происходят изменения различных геофизических полей, а также состава подземных вод и концентраций в них химических элементов и газов. Данные по ним накануне подземных толчков используются в качестве краткосрочных предвестников землетрясений. С этой целью в Южном Прибайкалье начаты исследования вариаций концентраций растворенного радона в подземных водах.

Ключевые слова: очаг землетрясения, концентрации растворенного радона, предвестники землетрясений

VARIATIONS IN THE CONCENTRATION OF DISSOLVED RADON IN GROUNDWATER OF THE SOUTHERN BAIKAL REGION TIME AND FORECAST OF EARTHQUAKE

Rudolf M. Semenov, Maksim N. Lopatin

Institute of the Earth Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, 128 Lermontova Str., e-mail: semenov@crust.irk.ru

It is known that the formation of the centers of earthquakes there is a change of various geophysical fields, as well as the ground water and the concentrations of these chemicals and gases. Data for him on the eve of earthquake used as a short-term earthquake precursors. To this end, in the Southern Baikal region started the study of variations of concentrations of dissolved radon in groundwater.

Keywords: the earthquake, the concentration of dissolved radon, earthquake precursors

Введение

Наиболее сложным и до сих пор трудноразрешимым в деле прогноза землетрясений является краткосрочный прогноз времени их возникновения. Несмотря на то, что установлены многочисленные геолого-геофизические и другие предвестники, к настоящему времени имеется лишь несколько успешно предсказанных подземных толчков, в результате которых проводились эвакуации населения накануне разрушительных землетрясений, и тем самым были спасены десятки и сотни человеческих жизней. Исследования по прогнозу землетрясений проводятся во многих сейсмоактивных регионах не только России, но и в Море.

Гидрогеохимические исследования в Южном Прибайкалье с целью поисков предвестников времени возникновения землетрясений были начаты еще в 70-е годы прошлого столетия [1]. Однако, ввиду их краткосрочности и разрозненности, существенных результатов получено не было. С 2005 г. начаты исследования содержания растворенного гелия в глубинной воде оз. Байкал. Работ подобного плана в открытых глубоководных бассейнах, расположенных в сейсмоактивных районах нигде в мире ранее не проводилось. Именно на основании этого подхода, правда, ретроспективно, был определен предвестник сильного Култукского землетрясения ($K=15.9$; $M=6.3$), произошедшего 27 августа в акватории Южного Байкала [6, 7].

С 2009 г. нами в Южном Прибайкалье начаты исследования вариаций растворенного радона в подземных водах с целью поисков предвестников времени возникновения землетрясений. Концентрации радона определяются в пробах воды, отобранных из самоизливающейся скважины глубиной 787 м, расположенной в пос. Зеленый Мыс в 20 км к северу от южного побережья Байкала. Скважина обсажена до глубины 500 м, что исключает возможность

смещения глубинных вод, несущих растворенный радон с грунтовыми водами и тем самым искажать значения его первичных концентраций.

Ранее было предложено проводить исследования растворенных газов в подземных водах в зонах разломов [9], с которыми связаны землетрясения. Именно поэтому для прогноза сейсмических явлений по радиоизотопным параметрам первостепенный интерес представляет изучение вод разломов. В связи с этим мы гидрогеохимические наблюдения проводили на скважине, пробуренной в грабенообразной долине р. Ангары, приуроченной к Ангарскому разлому [3]. Он на карте разломов Юга Восточной Сибири показан в виде скрытых под четвертичными отложениями тектонических нарушений по обоим берегам р. Ангары. Согласно геологической съемки масштаба 1:50 000, его наличие подтверждается геофизическими данными: в своей северо-западной части он выделяется как ось зоны градиентов магнитного поля, а в юго-восточном направлении фрагментарно выражен в виде оси зоны срыва корреляции магнитных аномалий. В гравитационном поле ему отвечает зона градиентов, значения которых увеличиваются с юго-востока на северо-запад. Кроме этого северо-западная часть разлома подтверждается сейсморазведочными данными. Заложение разлома относится к протерозою, а с позднего мезозоя отмечается его активизация в связи с тектоническими движениями в южном горном обрамлении Сибирской платформы. Юго-восточное окончание разлома пересекается с Обручевским активизированным разломом. К узлу пересечения приурочены эпицентры как слабых, так и довольно сильных подземных толчков, зарождение которых может отражаться в гидрогеохимических предвестниках землетрясений.

Отбор проб воды на анализ производится ежедневно. В основу методики измерения объемной активности радона в воде заложен процесс барботажа, который создается путем прокачки очищенного атмосферного воздуха в виде мелких пузырей через объемный эквивалент водной пробы, что позволяет вытеснять растворенный радон и сорбировать его в колонке с активированным

углем [5]. В последующем этапе сорбционная колонка экспонируется в течение трех часов для того, чтобы радон вошел в состояние равновесия со своими дочерними продуктами распада: ^{214}Pb и ^{214}Bi , – так как измерение производится в блоках бета-детектирования прибора (тип «Камера-01»). Объемная активность радона в воде (C_{Rn} ; Бк/л) вычисляется по измеренной активности в угле (A , Бк) с учетом времени между отбором пробы и началом измерения (t , ч) и постоянной распада радона (λ ; 0,00755 1/ч):

$$C_{Rn} = 0.78 \cdot A \cdot \exp(\lambda \cdot t)$$

Полученные данные оперативно обрабатываются, по ним строятся графики вариаций концентраций, что позволяет по характерным формам кривых на графиках, фиксировать краткосрочные предвестники землетрясений [4].

За последние 6 лет проанализированы графики, обусловленные несколькими десятками землетрясений различных энергетических классов, очаги которых располагались на различных расстояниях от пункта гидрогеохимических наблюдений (по данным БФ ГС СО РАН, www.seis-bykl.ru). При этом в расчет принимались лишь те из них, условная энергетическая характеристика (K') которых в пункте наблюдения была $K' > 5.0$ и, которые, по мнению В.Л. Барсукова с коллегами [2], могли оказывать влияние на изменения концентраций радона и гелия в пункте гидрогеохимических наблюдений. Рассчитывалась она по формуле:

$$K' = K - A \lg R$$

где K' - условная энергетическая характеристика; K – энергетический класс землетрясения (десятичный логарифм энергии); A – специально подобранный численный коэффициент равный 2,5; R – расстояние от эпицентра землетрясения до точки наблюдения, км (табл. 1).

Поскольку наши исследования направлены на поиски краткосрочных (дни-часы) предвестников землетрясений, мы рассматриваем изменения концентраций в пределах недельного срока до землетрясения. Именно в этот отрезок времени накануне землетрясений отмечается время экстремума,

соответствующее краткосрочному предвестнику. Для этого с графиков изменений содержаний радона для расчетов мы брали время экстремума (перегиба кривой) до момента землетрясения.

Таблица 1

Землетрясения Южного Прибайкалья за 2009-2015 гг. и их условная энергетическая характеристика в пункте гидрогеохимических наблюдений пос. Зеленый Мыс

Землетрясения								Пункт гидрогеохимических наблюдений
Дата землетрясения			Время землетрясения (по Гринвичу)		Координаты эпицентра землетрясения		Энергетический класс землетрясения	Эпицентральное расстояние, км от водозабора и условная энергетическая характеристика землетрясения, K в пункте наблюдения (Зеленый Мыс)
год	м-ц	день	час	мин	с.ш.	в.д.	K	L/K
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2009	06	14	10	30	51.70	104.07	10.0	58/5.6
2009	07	26	05	27	52.35	106.84	10.9	155/5.4
2009	08	04	16	20	50.80	96.70	14.2	220/8.3
2009	11	19	10	04	51.68	104.54	9.6	46/5.4
2010	02	08	11	55	51.90	105.56	10.3	70/5.7
2010	02	25	04	27	52.19	105.90	11.8	78/7.0
2010	03	19	09	30	54.49	110.11	13.9	500/7.1
2010	07	26	07	18	52.57	106.49	10.9	137/5.5
2010	09	27	13	00	53.26	108.51	12.4	280/6.3
2010	10	27	13	18	52.04	105.68	10.0	72/5.3
2010	10	31	17	29	51.86	105.25	9.5	52/5.2
2010	12	17	16	46	51.85	105.22	9.6	50/5.3
2010	12	20	02	47	51.85	105.26	9.8	52/5.5
2011	01	07	20	57	51.87	105.45	9.9	65/5.4
2011	02	01	12	53	50.97	107.85	13.1	260/7.1
2011	03	18	10	26	52.81	106.71	10.5	166/5.1
2011	06	02	12	30	51.92	105.26	9.9	50/5.6
2011	06	05	06	51	51.90	105.30	9.5	53/5.2
2011	07	06	18	46	52.12	105.58	10.0	66/5.4
2011	07	16	18	38	52.88	108.49	14.5	278/8.4
2011	10	14	07	32	52.60	107.20	11.3	185/5.6
2011	10	28	15	33	52.94	107.30	11.2	203/5.4
2011	11	09	15	23	52.03	105.63	11.2	70/6.6
2011	12	27	15	21	51.80	95.90	15.9	600/8.9
2012	01	12	04	45	51.75	106.16	11.7	115/6.5
2012	02	20	03	27	52.15	106.37	10.9	120/5.7
2012	02	25	06	13	51.87	95.99	16.3	605/9.3
2012	04	07	10	20	52.62	106.53	10.4	143/5.0
2012	06	14	18	40	51.67	103.97	9.8	67/5.2
2012	07	27	03	58	51.68	96.02	13.4	590/6.5
2012	08	14	18	57	51.45	104.19	10.4	80/5.6
2012	08	26	10	43	51.75	104.59	10.4	40/6.4
2012	10	30	10	11	53.40	108.00	11.7	270/5.6
2012	12	29	00	07	52.06	105.72	11.0	78/6.3
2013	01	04	22	23	55.24	109.28	11.9	480/5.2
2013	01	08	11	51	51.85	105.16	11.2	47/7.0
2013	03	15	21	35	51.92	105.33	9.5	55/5.1
2013	05	10	13	22	51.88	105.37	9.9	58/5.5

2013	06	07	23	16	51.68	103.87	9.9	70/5.3
2013	07	08	09	20	51.66	104.56	10.3	50/6.1
2013	08	11	18	50	51.68	104.45	9.6	47/5.4
2013	11	03	06	14	52.00	99.04	12.4	375/6.0
2014	04	25	01	44	51.59	104.42	10.7	57/6.3
2014	07	07	22	41	53.28	108.48	11.3	290/5.1
2014	07	20	06	36	51.72	104.40	9.6	46/5.4
2014	09	01	20	10	50.90	103.27	11.4	162/5.9
2014	11	01	00	51	52.58	101.26	13.5	220/7.6
2014	11	16	01	11	52.66	106.55	10.6	142/5.2
2014	12	05	18	04	51.37	100.63	13.6	290/7.4
2014	12	05	18	25	51.37	100.66	11.7 афт.	285/5.5
2014	12	22	03	05	53.04	108.09	12.3	255/6.2
2014	12	23	02	14	56.03	113.89	12.6	742/5.4
2015	01	05	06	04	56.11	113.75	13.1	742/5.9
2015	01	13	05	41	52.08	105.66	10.7	742/6.0
2015	01	18	06	41	56.15	113.70	13.1	742/5.9
2015	01	18	23	06	56.09	113.77	13.0	745/5.9
2015	03	13	04	11	56.09	113.92	12.3	80/5.1
2015	04	06	07	47	53.13	108.28	12.6	275/6.5
2015	04	20	23	31	53.45	108.32	11.4	292/5.2
2015	04	29	07	16	52.00	105.60	10.0	75/5.3
2015	06	21	14	31	53.46	109.10	12.3	350/5.9
2015	07	07	14	15	55.70	110.36	13.0	550/6.1
2015	07	08	20	04	49.05	100.89	11.8	425/5.2
2015	07	13	04	15	52.23	107.93	11.5	235/5.5

А.Я. Сидориным был предложен расчет зависимости времени проявления предвестников землетрясений от эпицентрального расстояния и его энергетического класса [8], используя который, мы по полученным данным рассчитали уравнение регрессии (Рис. 1):

$\lg(RT)$

$$\lg(TR) = 0.19K + 1.73$$

$$r = 0.66$$

К

Рис. 1. Зависимость функции $\lg(TR)$ от энергетического класса землетрясений K (T – в часах, R – в км)

На рисунке пунктирными линиями показан 95% доверительный интервал при коэффициенте корреляции 0.66. Если убрать две точки, которые выходят за этот интервал (поскольку они являются сдвоенными подземными толчками), то зависимость будет иметь вид $\lg(\text{TR}) = 0.20K + 1.67$, а коэффициент корреляции составит 0,70. Согласно полученному уравнению можно рассчитать время краткосрочного предвестника землетрясения по его энергетическому классу и эпицентральному расстоянию.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 14-05-00245) и проекта 4.1.

Список литературы

1. Бадминов П. С., Лопатин М. Н., Семенов Р. М., Тубанов Ц. А., Крюкова И. Г., Оргильянов А. И. Изучение газового состава подземных и глубинных вод озера Байкал с целью поиска предвестников землетрясений / Фундаментальные и прикладные проблемы гидрогеологии. Материалы XXI Всероссийского совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с международным участием. Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН. 2015. С. 245-249.
2. Барсуков В.Л., Беляев А.А., Бакалдин Ю.А., Игумнов В.А., Ибрагимова Т.Л., Серебренников В.С., Султанходжаев А.Н. Геохимические методы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1992. 213 с.
3. Карта разломов Юга Восточной Сибири. Масштаб 1:1 500 000. / Александров В.К., Дёмин А.Н., Мордовская Т.В., Таскин А.П., Хренов П.М., Лебедев С.П. Редактор П.М. Хренов. Иркутск: Мин-во геологии СССР. ВОСТСИБНИИГГ и МС. 1982.
4. Киссин И.Г. О соотношениях между предвестниками землетрясений и постсейсмическими эффектами // ДАН. 1997. Т. 354. № 6. С. 804-807.
5. Методика измерений содержания радия и радона в природных водах. М.: НТЦ «Нитон», 1993. 6 с.
6. Семенов Р.М., Имаев В.С., Смекалин О.П., Чипизубов А.В., Оргильянов А.И. Гелий в глубинной воде Байкала предвестник землетрясений // ДАН. 2010. Т. 432. № 4. С. 533-536.
7. Семенов Р.М., Смекалин О.П. Сильное землетрясение на Байкале 27 августа 2008 г. и его предвестники // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 4. С.521-528.
8. Сидорин А.Я. Зависимость времени проявления предвестников землетрясений от эпицентрального расстояния // ДАН. 1979. Т. 245. № 4. С. 825-828.
9. Чалов П.И., Тузова Т.В., Алехина В.М. О прогнозе землетрясений по изменениям радиоизотопных параметров вод разломов земной коры // Физика Земли. 1977. №8. С. 56-60.