



УДК 550. 348. 64(571 / 55)

Поиск краткосрочных предвестников землетрясений в Южном Прибайкалье

Р. М. Семенов (semenov@crust.irk.ru)

М. Н. Лопатин (flamewolf@mail.ru)

Аннотация. Прогноз времени возникновения землетрясений является весьма актуальной научной проблемой. В то же время, несмотря на усилия ученых-сейсмологов многих стран, он все еще остается трудноразрешимым. Между тем имеется множество геолого-геофизических и других данных, которые можно рассматривать в качестве краткосрочных предвестников землетрясений. Использование одних из них – гидрогеохимических – рассматривается в предлагаемой статье.

Ключевые слова: краткосрочный прогноз землетрясений, гидрогеохимические предвестники, гелий, энергетический класс землетрясений, среднеквадратичное отклонение.

Введение

Землетрясения являются наиболее катастрофическими природными явлениями. Именно они нередко сопровождаются многочисленными человеческими жертвами: при Токийском землетрясении в Японии в 1923 г. погибли более 143 тыс. чел., при Тяньшанском в Китае в 1976 г. по разным оценкам – около 0,5 млн, Спитакское землетрясение в Армении в 1988 г. унесло более 25 тыс. жизней, при Индонезийском землетрясении и вызванном им цунами в 2004 г. в разных странах погибли более 300 тыс. чел. И этот трагический список идет с древних времен и будет продолжаться в будущем, если человек не найдет средств защиты от землетрясений. Хотя противостоять разрушительной силе мощных подземных толчков и невозможно, а вот существенно уменьшить людские потери можно, если научиться предвидеть время возникновения землетрясений и проводить соответствующие превентивные мероприятия. К сожалению, к настоящему времени во всем мире насчитывается лишь несколько успешных предсказаний времени возникновения землетрясений, в результате которых удавалось проводить своевременные эвакуации населения накануне разрушительных землетрясений и тем самым спасать людей от неминуемой гибели [11]. Все это обусловлено сложностью краткосрочного прогноза землетрясений. Ведь если место и силу подземных толчков в общем-то уже довольно успешно прогнозируют, результатами чего являются карты сейсмического районирования, то время возникновения землетрясений в основном остается нерешенной задачей. А между тем землетрясения, в общем и це-

лом, происходят не неожиданно [2]. Они всегда предваряются определенными предвестниками, среди которых насчитывается большое количество геолого-геофизических, сейсмологических, гидрогеологических, геодезических и многих других. Вот только распознать их удастся далеко не всегда. Например, давно установлено, что сильные землетрясения предваряются так называемыми периодами сейсмического затишья. Это те случаи, когда в том или ином сейсмоактивном районе вдруг перестают возникать ощутимые и сильные землетрясения. Эти периоды могут продолжаться в течение довольно продолжительного времени. После чего в них обязательно происходят землетрясения, причем часто тем сильнее, чем больше продолжительность сейсмического затишья и чем большая территория сейсмоактивного региона («сейсмическая брешь») была вовлечена в него. Размер сейсмических брешей может свидетельствовать о силе готовящегося землетрясения. Установлена даже определенная зависимость между их размером и силой землетрясения. Магнитуда прогнозируемого сейсмического события может быть оценена по формуле Танака К. [10]:

$$\lg R = 0,33M - 0,07, \quad (1)$$

где R – размер сейсмической брешы; M – магнитуда прогнозируемого землетрясения.

Правда, следует заметить, что этот прогноз относится, скорее всего, к среднесрочному, т. е. по нему можно предсказывать возникновение землетрясений за месяцы или годы. К числу краткосрочных предвестников, наряду с другими, можно отнести гидрогеохимические, которые и будут рассмотрены далее в настоящей статье.

Гидрогеохимические предвестники основаны на изучении концентраций различных химических элементов и газов в подземных водах. Начало таким исследованиям было положено в Узбекистане перед Ташкентским землетрясением 1966 г. Тогда, задолго до возникновения землетрясения, проводились измерения содержаний радона, гелия и других газов и химических элементов в подземных водах района г. Ташкента. Было установлено, что накануне землетрясения в воде колодцев и скважин существенно изменились их содержания, что послужило основанием считать их в качестве краткосрочных предвестников землетрясений [7].

Именно после этого во многих сейсмоактивных районах мира стали проводить исследования по изучению поведения химических элементов в подземных водах с целью обнаружения предвестников времени возникновения землетрясений. Так, в 1975 г. в Китае по гидрогеохимическим, наряду с другими геолого-геофизическими данными, было предсказано время возникновения Хайченского разрушительного землетрясения, на основании чего проведены массовые эвакуации населения и тем самым спасены тысячи жизней [8].

Предпринимались попытки гидрогеологических исследований с целью прогноза землетрясений и в Прибайкалье [3]. Здесь гидрогеохимические наблюдения проводились как на естественных очагах разгрузки подземных вод, так и в скважинах. В частности, в скважине глубиной 750 м в

г. Иркутске было зафиксировано понижение, а затем резкое повышение концентраций гелия за несколько суток перед некоторыми землетрясениями, хотя энергия подземных толчков была невысока, а эпицентральные расстояния до водозабора значительные.

Постановка задачи

С целью поиска предвестников времени возникновения землетрясений, нами с 2005 г. начаты исследования содержания растворенного гелия в глубинной воде южной части оз. Байкал (пос. Листвянка) [5]. Работ подобного плана в открытых глубоководных бассейнах, подобных Байкалу, расположенных в сейсмоактивных районах, нигде в мире ранее не проводилось.

Предпосылки постановки такого рода работ следующие. Гелий является продуктом распада радиоактивных элементов, а его атом представляет собой альфа-частицу. Радиоактивные элементы повсеместно распространены в земной коре. Образуясь в результате распада радиоактивных элементов, насыщающих верхний слой земной коры, гелий по глубинным разломам выбрасывается нашей планетой в атмосферу, а затем в космическое пространство [9].

Источником повышенного содержания гелия в подземных и поверхностных водах являются трещинно-жильные напорные воды коровых разломов. В районе пункта отбора проб воды расположен узел пересечения Обручевского и Ангарского разломов, по которым в донные отложения Байкала происходит разгрузка подземных вод, обогащенных гелием. Ввиду малой фильтрационной проницаемости донных отложений, в них при постоянном напоре снизу происходит накопление гелия, который диффузионным путем переходит в воды Байкала и затем через атмосферу диссипирует в космос. Таким образом, создается определенное равновесное состояние. Резкое изменение напряженного состояния коренного ложа Байкала на границах блоков, которое возникает при землетрясениях, приводит к нарушению сплошности залегания рыхлых отложений, увеличению вертикальной скорости фильтрации и облегчает поступление гелия из них в озерные воды. Таким образом, фиксируются колебания содержания гелия в пробах глубинной воды Байкала.

Отбор проб воды проводится ежедневно в пос. Листвянка на расстоянии 1700 м от берега Байкала с глубины 500 м. Анализ содержания гелия осуществляется с помощью индикатора гелия магниторазрядного (ИНГЕМ-1).

Полученные данные выносятся на график. По ним рассчитываются среднее содержание гелия и его среднеквадратичное отклонение. Считается установленным, что превышение двух среднеквадратичных отклонений содержания гелия свидетельствует о приближении сильного землетрясения [1]. Именно таким образом было зафиксировано приближение Култукского восьмибалльного землетрясения ($K = 15,3$) на юге Байкала в августе 2008 г. [5].

В течение 2012 г. продолжались исследования содержания растворенного гелия в глубинной воде Байкала (пос. Листвянка) с целью поиска краткосрочных предвестников землетрясений в Южном Прибайкалье. Как

было установлено ранее [6], влияния различных землетрясений на изменения геохимического состава подземных вод сказываются на расстояниях, равных десятикратному размеру их очагов. Длины очагов землетрясений приведены в соответствии с энергетическими классами (табл. 1) [4].

Таблица 1

Энергетический класс землетрясений (K) и размеры их очагов

Энергетический класс (K)	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Длина очага, км (L)	1	2,5	5	7,5	10	30	50	75	100

При этом, для того чтобы количественно оценить эти влияния непосредственно в пункте наблюдений, В. Л. Барсуков с коллегами [1] предложили рассчитывать условную энергетическую характеристику, которая позволяет учитывать энергию землетрясения в пункте гидрогеохимических наблюдений в связи с его удаленностью от эпицентра землетрясения. Рассчитывается она следующим образом:

$$K' = K - A \lg R, \quad (2)$$

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

По их мнению, изменение гидрогеохимических данных может происходить в том случае, если условная энергетическая характеристика землетрясения в пункте наблюдения составляет $K' \geq 5$.

В каталоге землетрясений Южного Прибайкалья за 2012 г. указаны размеры очагов землетрясений, эпицентральные расстояния до пунктов наблюдения и условные энергетические характеристики в них (табл. 2). Причем, последние были рассчитаны как с использованием коэффициента $A = 2,5$ (как это предлагалось в [1] для Средней Азии), так и с $A = 2,0$, предложенного нами, что, как мы считаем, больше подходит для Прибайкалья.

Согласно вышеуказанным данным (см. табл. 2), можно предполагать, что возникновение гидрогеохимических предвестников можно было ожидать при землетрясениях 25.02; 07.05; 26.08; 30.10 и 29.12.2012.

Анализ вариаций содержаний гелия в связи с сейсмическим режимом. За 2012 г. было отобрано около 350 проб воды, определено в них содержание растворенного гелия и проанализированы изменения концентраций гелия в связи с сейсмическим режимом. Ориентируясь на график концентраций гелия перед Култукским землетрясением 2008 г. [5], когда основные их изменения наблюдались в течение последней недели перед подземным толчком, рассмотрим их содержания накануне выделенных землетрясений в 2012 г. также в течение последней недели.

Эпицентр сильного ($K = 16,3$) землетрясения 25.02.2012 располагался в Республике Тыва на расстоянии 600 км от пункта гидрогеохимических наблюдений, и его условная энергетическая характеристика достигла $K' = 9,4$. В течение недели перед землетрясением существенных изменений не было. Однако за 7 ч до толчка произошло резкое падение гелия, которое сохранялось в течение двух суток, после чего вновь установилось на прежнем уровне.

Таблица 2

Каталог землетрясений Южного Прибайкалья за 2012 г.

Дата землетрясения			Время землетрясения (по Гринвичу)		Координаты эпицентра землетрясения		Энергетический класс землетрясения	Протяженность очага землетрясения и его 10-кратный размер		Расстояние от водозабора до эпицентра землетрясения	Истинная (условная) энергет. характеристика землетрясения в пункте наблюдения
Год	м-ц	день	час	мин	с. ш.	в. д.		K	l , км		
2012	01	12	04	45	51,74	106,16	11,8	6,8	68	91	7,9 (6,9)
2012	01	19	05	33	51,71	105,41	9,3	1,6	16	41	6,1 (5,3)
2012	02	06	23	59	52,33	101,94	10,1	3,2	32	203	5,5 (4,3)
2012	02	20	03	27	52,15	106,37	11,0	5,0	50	108	6,9 (5,9)
2012	02	25	06	17	51,87	95,99	16,3	82,5	825	605	10,7 (9,4)
2012	04	07	10	20	52,57	106,54	10,5	4,0	40	137	6,2 (5,2)
2012	05	07	21	32	51,76	105,10	9,5	2,0	20	20	6,9 (6,3)
2012	06	14	18	40	51,67	103,93	9,6	2,2	22	70	6,0 (5,0)
2012	07	16	17	00	51,60	101,96	10,5	4,0	40	202	5,9 (4,7)
2012	07	26	21	00	52,20	105,90	9,5	2,0	20	78	5,7 (4,8)
2012	08	14	18	57	51,46	104,17	10,4	3,8	38	67	6,8 (5,8)
2012	08	19	16	36	51,64	101,36	10,1	3,2	32	240	5,3 (4,2)
2012	08	26	10	43	51,70	104,60	10,8	4,6	46	25	8,0 (7,3)
2012	09	12	23	24	52,57	106,51	9,9	2,8	28	134	5,7 (4,6)
2012	10	01	17	48	53,28	108,50	11,8	7,0	70	280	7,0 (5,7)
2012	10	05	23	04	53,24	108,49	12,0	7,5	75	290	7,1 (5,9)
2012	10	18	18	48	52,39	106,59	9,5	2,0	20	131	5,3 (4,2)
2012	10	30	10	11	53,40	108,00	11,7	6,8	68	71	8,0 (7,1)
2012	11	28	06	18	51,94	105,57	9,5	2,0	20	49	6,1 (5,3)
2012	12	08	23	52	53,73	108,19	10,1	3,2	32	288	5,2 (4,0)
2012	12	09	08	48	52,26	108,51	11,0	5,0	50	288	6,1 (5,0)
2012	12	29	00	07	52,06	105,72	11,0	5,0	50	62	7,4 (6,6)

Землетрясение 07.05.2012 было относительно слабым ($K = 9,5$), но его эпицентр отстоял от пункта наблюдения всего в 20 км к юго-востоку, вследствие чего условная энергетическая характеристика в пункте наблюдения составила $K' = 6,3$. Здесь также в течение недели накануне подземного толчка заметных колебаний в содержаниях гелия не отмечалось. Однако за 1,5 суток до землетрясения вновь отмечалось заметное падение содержания гелия, которое восстановилось сразу же за подземным толчком.

Энергетический класс землетрясения 26.08.2012 также был небольшим ($K = 10,8$). Однако заметные сейсмические сотрясения от него отмечались в близлежащих населенных пунктах (Листвянка, Ангарские Хутора – 3 балла) и даже местами были заметны в городах Иркутске и в Шелехове. Эпицентр землетрясения располагался в акватории Байкала в 25 км от пункта наблюдения, вследствие чего условная энергетическая характеристика в нем составила $K' = 7,3$. В данном случае в течение предшествующей землетрясению недели наблюдалось постепенное снижение концен-

трации гелия, которое достигло минимального значения 25 августа, т. е. опять же за 1,5 суток до толчка.

Эпицентр землетрясения 30.10.2012 ($K=11,7$) располагался в Байкале севернее о. Ольхон, в 71 км северо-восточнее пункта гидрогеохимических наблюдений. Условная энергетическая характеристика в пункте наблюдения составила $K'=7,1$. И вновь отмечалось заметное падение концентраций гелия накануне землетрясения и резкое повышение сразу же после подземного толчка.

Наконец, 29.12.2012 в 62 км северо-восточнее пункта наблюдения в акватории Байкала произошло землетрясение с $K=11,0$, условная энергетическая характеристика при котором в пункте наблюдения составила $K'=6,6$. За неделю до этого землетрясения отмечалось незначительное, но все же весьма заметное снижения уровня содержания гелия. Минимального значения оно достигло опять же за сутки до основного толчка и резко возросло сразу же после землетрясения.

Выводы

Проведенные исследования позволяют сделать в первом приближении следующие выводы.

Установлено, что концентрации растворенного гелия в глубинной воде Байкала изменяются накануне землетрясений. При этом изменения отмечаются в том случае, если эпицентры землетрясений располагаются на таких расстояниях от пункта гидрогеохимических наблюдений, при которых условная энергетическая характеристика от этих землетрясений в пункте наблюдения составляет $K \geq 6,5$. Основная схема поведения гелия – падение концентрации перед сейсмическим событием и ее повышение после землетрясения. Полученные за 2012 г. данные подтверждают данные по вариациям концентраций гелия накануне сильного Култукского землетрясения 2008 г., что позволяет относить их к краткосрочным предвестникам землетрясений.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке программы Президиума РАН № 16. 8.

Список литературы

1. Барсуков В. Л. Вестники беды (о поиске средств геохимического прогноза землетрясений) / В. Л. Барсуков, А. А.Беляев, В. С. Серебренников. – М. : Наука, 1989. – 136 с.
2. Добровольский И. П. Математическая теория подготовки и прогноза тектонического землетрясения / И. П. Добровольский. – М. : Физматлит, 2009. – 240 с.
3. Пиннекер Е. В. Результаты изучения гидрогеологических предвестников землетрясений в Байкальской рифтовой области / Е. В. Пиннекер, В. Г.Ясько, Б. О. Шкандрий // Гидрогеохимические предвестники землетрясений / отв. ред. Г. М. Варшал. – М. : Наука, 1985. – С. 259–265.
4. Ризниченко Ю. В. Проблемы сейсмологии. Избранные труды / Ю. В. Ризниченко. – М. : Наука, 1985. – 408 с.

5. Семенов Р. М. Сильное землетрясение на Байкале 27 августа 2008 г. и его предвестники / Р. М. Семенов, О. П. Смекалин // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 4. – С. 521–528.
6. Султанходжаев А. Н. Гидрогеосейсмологические предвестники землетрясений / А. Н. Султанходжаев // Узб. геол. журн. – 1979. – № 2. – С. 3–13.
7. Уломов В. И. О предвестнике сильного тектонического землетрясения / В. И. Уломов, Б. З. Мавашев // Докл. АН СССР. – 1967. – Т. 176, № 2. – С. 319–321.
8. Haicheng earthquake 1975. 2.4. – Shenyong, 1982. – 80 p.
9. Semenov R. M. Earthquake of 27 August 2008 in the Southern Baikal area its precursors / R. M. Semenov // Geodynamics & Tectonophysics. – 2010. – Vol. 1, N 4. – P. 441–447.
10. Tanaka K. Formation pattern of seismic gaps before and after large earthquake / K. Tanaka // Zesin, J. Seismol. Soc. Japan. – 1980. – Vol. 33, N 3. – P. 369–377.
11. Wyss M., Habermann R. E. Precursory seismic quiescence / M. Wyss, R. E. Habermann // Physical and observational basis for intermediate-term earthquake prediction: Open-file report 87–591. Menlo-Park, Ca. – 1987. – Vol. 2. – P. 526–536.

Search for short-term earthquake precursors Southern Baikal

R. M. Semenov, M. N. Lopatin

Annotation. Time of earthquake prediction is very relevant scientific problem. At the same time, despite the efforts of scientists and seismologists in many countries, it is still difficult to solve. Meanwhile, there are many geological, geophysical and other data that can be considered as short-term earthquake precursors. The use of one of them – hydrogeochemical considered in this article.

Key words: short-term earthquake prediction, hydrogeochemical precursors, helium, energy class of earthquakes, the standard deviation.

Семенов Рудольф Михайлович
 доктор геолого-минералогических наук
 Институт земной коры СО РАН
 664033, г. Иркутск ул. Лермонтова, 128
 ведущий научный сотрудник
 тел.: (3952) 42–54–04
 Иркутский государственный
 университет путей сообщения
 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15
 профессор
 тел.: (3952) 63–83–60

Semenov Rudolf Mikhailovich
 Doctor of Geology and Mineralogy
 Institute of the Earth's crust SB RAS
 128, Lermontova st., Irkutsk, 664033
 leading research scientist
 tel.: (3952) 42–54–04
 Irkutsk State Transport University
 15, Chernyshevsky st., Irkutsk, 664074
 professor
 tel.: (3952) 63–83–60

Лопатин Максим Николаевич
 Институт земной коры СО РАН
 664033, г. Иркутск ул. Лермонтова, 128
 аспирант
 тел.: (3952) 42–54–04
 ФГУГП «Урангеологоразведка»
 БФ «Сосновгеология»
 664039, г. Иркутск, ул. Гоголя, 53
 инженер по охране окружающей среды
 тел.: (3952) 38–72–26

Lopatin Maksim Nikolaevich
 Institute of the Earth's crust SB RAS
 128, Lermontova st., Irkutsk, 664033
 postgraduate student
 tel.: (3952) 42–54–04
 FSUGC "Urangeorogorazvedka"
 BB "Sosnovgeologiya"
 53, Gogol st., Irkutsk, 664039
 environmental engineer
 tel.: (3952) 38–72–26