



что говорит об адекватности разработанной математической модели и оптимальной работе компьютерной программы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Илларионов А. И., Янчук О. В. Нелинейное преобразование излучения по частоте сфокусированного гауссова пучка // Изв. ВУЗов. Физика. 2007. Т. 50. – № 12. С. 14–19.
2. Янчук О. В., Илларионов А. И. Влияние сферической аберрации волнового фронта основного излучения на процессы генерации второй гармоники в одноосных кристаллах : сб. докл. IX межд. шк-семина. по люмен. и лазер. физики. (Иркутск, 2-6 окт. 2005 г.). Иркутск : Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2006. С. 212–219.
3. Дмитриев В. Г., Тарасов Л. В. Прикладная нелинейная оптика. М. : Физматлит. 2004. 512 с.
4. Васильев Ф. П. Численные методы решения экстремальных задач. М. : Наука. 2002. 415 с.

УДК 550.343

Лопатин Максим Николаевич,

аспирант, ИЗК СО РАН, г. Иркутск, тел. 89041369108, e-mail: flamewolf@mail.ru

Семенов Рудольф Михайлович,

д. г.-м. н., профессор, Иркутский государственный университет путей сообщения, в. н. с., ИЗК СО РАН, тел. 89086607683, e-mail: semenov@crust.irk.ru

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ ЮЖНОГО ПРИБАЙКАЛЯ – ИСТОЧНИК ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

M.N. Lopatin, R.M. Semenov

SOUTHERN BAIKAL REGION UNDERGROUND WATER – INFORMATION SOURCE FOR EARTHQUAKE PREDICTION

Аннотация. Рассмотрены вариации содержания растворенного гелия в подземных водах Южного Прибайкалья накануне некоторых землетрясений в 2012 году, которые могут служить в качестве прогнозных признаков времени возникновения подземных толчков.

Ключевые слова: подземные воды, гелий, землетрясения, условная энергетическая характеристика землетрясений, прогноз землетрясений.

Abstract. We consider the variation of dissolved helium in Southern Baikal groundwater on the eve of some earthquakes in 2012, which may serve as a predictive sign earthquakes occurrence time.

Keywords: ground water, helium, earthquakes, conventional energy characteristic of earthquakes, earthquake prediction.

Введение

Сложности с предсказанием времени возникновения землетрясений общеизвестны. Несмотря на усилия исследователей всего мира, успешных прогнозов в этом отношении насчитываются единицы [1]. Объясняется это многими причинами. Во-первых, индивидуальностью моделей подготовки и реализации очагов землетрясений, во-вторых, своеобразностью реакций различных геолого-геофизических и других полей на эти многочисленные модели. Когда происходит ана-

лиз геолого-геофизических данных, которые отмечались перед землетрясением, обнаруживается следующее. Одни из них чутко отреагировали на приближение подземного толчка, другие проявились во время или же после землетрясения, третьи вообще не прореагировали на приближение землетрясения и т. д. В результате создается впечатление, что подготовка землетрясения никак не отразилась в его предвестниках. «Поскольку данные по предвестникам анализируются «кучей», без отсева, то неудивительно, что начинает укрепляться мнение об отсутствии предвестников землетрясений вообще» [2, с. 126]. Именно поэтому, на наш взгляд, необходимо анализировать отдельно поведение тех или иных изменений геолого-геофизических и др. показателей, предшествующих землетрясениям. Только изучив, как ведет себя тот или иной показатель, можно использовать их в совокупности. И в этом случае естественно ожидать более надежных прогностических результатов.

Известно, что растворенный в подземных водах гелий может использоваться в качестве краткосрочного предвестника землетрясений [3, 4, 5, 6]. В настоящее время во многих сейсмоактивных регионах как в России, так и за рубежом ведутся гидрогеохимические исследования с целью предсказания времени возникновения землетрясений. В Прибайкалье – одном из наиболее сейсми-



чески активных регионов России подобных исследований почти не проводилось. Хотя кратковременные наблюдения за концентрациями растворенного гелия в подземных водах, как в артезианских скважинах, так и на природных очагах разгрузки свидетельствовали о том, что иногда наблюдались колебания содержаний гелия накануне землетрясений [7].

Постановка задачи

В последние несколько лет мы изучаем содержание растворенного гелия в подземных водах Южного Прибайкалья и в глубинной воде Байкала. Полученные данные анализируем с проявлением сейсмической активности. Исследование содержаний гелия показывает, что они имеют пульсирующий характер. На фоне средних значений периодически отмечаются как повышенные, так и пониженные концентрации. Такие наблюдения отмечаются и в других регионах. Для них, как правило, характерны краткосрочные отклонения в сторону увеличения или уменьшения от средних значений. Обуславливаются они различными как геолого-геофизическими, так и метеорологическими и другими факторами [6].

В августе 2008 г. на юге Байкала произошло сильное ($M = 6,3$; $I_0 = 8$ баллов) Култукское землетрясение, которому предшествовали характерные, не похожие на ранее фиксированные, изменения в концентрациях гелия [8, 9]. На наш взгляд, они могут рассматриваться в качестве краткосрочных предвестников землетрясения. Эти исследования продолжаются вплоть до настоящего времени. В предлагаемой статье рассмотрены данные, полученные за 2012 г. не только по глубинной воде Байкала, но и по артезианской скважине, расположенной на курорте Зеленый Мыс.

Ориентируясь на полученные накануне Култукского землетрясения данные, мы предприняли попытку проанализировать поведение концентраций гелия в течение недели перед несколькими землетрясениями, произошедшими в Южном Прибайкалье в 2012 году.

Ранее было установлено [10], что влияния различных землетрясений на изменения геохимического состава подземных вод сказываются на расстояниях, равных десятикратному размеру их очагов [11]. Кроме того, В.Л. Барсуков с коллегами [6] 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:

$$K' = K - \text{Alg}R, \quad (1)$$

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 гидрогеохимических наблюдений составляет $K' \geq 5$.

В 2012 г. в Южном Прибайкалье произошло несколько различных по энергии землетрясений (табл. 1, рис. 1). Мы рассмотрели землетрясения с $K' \geq 5$, т. е. такие, которые могли оказать влияние на изменение гидрогеохимического состава подземных вод и, следовательно, предвещаться краткосрочными предвестниками.

На рис. 2 приведены данные по вариациям концентраций гелия в пунктах гидрогеохимических наблюдений накануне некоторых землетрясений Южного Прибайкалья за 2012 год.

Выводы

Полученные данные оказались неоднозначными. В течение недели накануне землетрясений отмечаются различные колебания в содержаниях гелия, причем линейная связь между двумя пунктами гидрогеохимических наблюдений близка к слабой. Это объясняется, на наш взгляд, в основном двумя причинами: различной удаленностью очагов землетрясений от пунктов гидрогеохимических наблюдений, что, естественно, отражается и в различной сейсмической интенсивности в них и, вероятно, в различных моделях подготовки и реализации очагов землетрясений. Тем не менее, намечается тенденция снижения концентраций гелия в течение недели до подземного толчка и их повышение за несколько часов до землетрясения, т. е. так же, как это было установлено и накануне Култукского землетрясения 2008 года. Стоит отметить и усиление линейной связи в недельной выборке параметров перед сильным землетрясением в Туве 25 февраля 2012 года, прослеживавшееся и ранее при Култукском землетрясении.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке программы Президиума РАН № 16.8.



Т а б л и ц а 1

Каталог землетрясений Южного Прибайкалья за 2012 год

2012	Дата землетрясения		Время землетрясения (по Гринвичу)	Координаты эпицентра землетрясения	Энергетический класс землетрясения	Протяженность очага землетрясения и его 10-кратный размер	Расстояние от водозабора Листвянка (в скобках Зел. Мыс) до эпицентра землетрясения	Условная энергетическая характеристика землетрясения в пункте наблюдения					
	год	м-ц							день	час	мин	с. ш.	в. д.
07	2012	06	14	18	40	51,67	103,93	9,6	2,2	22	70 (67)	6,0 (6,0)	5,9 (6,0)
16	2012	06	14	18	40	51,67	103,93	9,6	2,2	22	70 (67)	6,0 (6,0)	5,9 (6,0)
17	2012	05	21	32	51,76	105,10	9,5	2,0	20	20 (51)	20 (51)	6,9 (6,1)	6,9 (6,1)
00	2012	04	20	17	51,87	95,99	16,3	82,5	825	825	605 (588)	10,7 (10,8)	10,7 (10,8)
51,60	2012	02	20	03	27	52,15	106,37	11,0	5,0	50	108 (122)	6,9 (6,8)	6,9 (6,8)
101,96	2012	02	06	23	59	52,33	101,94	10,1	3,2	32	203 (179)	5,5 (5,6)	5,5 (5,6)
10,5	2012	01	19	05	33	51,71	105,41	9,3	1,6	16	41 (68)	6,1 (5,7)	6,1 (5,7)
4,0	2012	01	12	04	45	51,74	106,16	11,8	6,8	68	91 (115)	7,9 (7,7)	7,9 (7,7)
202 (188)	2012	01	01	04	45	51,74	106,16	11,8	6,8	68	91 (115)	7,9 (7,7)	7,9 (7,7)



Окончание таблицы 1

Дата землетрясения	год		Время землетряс- сения (по Гринвичу)	Координаты эпицентра землетрясения	Энергетический класс землетрясения	Протяженность очага землетрясения и его 10-кратный размер	Расстояние от водозабора Листвянка (в скобках Зел. Мыс) до эпицен- тра землетрясе- ния	Условная энерге- тическая харак- теристика земле- трясения в пункт наблюдения						
	год	м-ц							ден ь	час	ми н	с. ш.	в. д.	К
2012 12	2012	12	09	08	23	48	52,26	108,51	11,0	5,0	50	288 (288)	6,1 (6,1)	7,4 (7,4)
29	2012	09	08	23	52	53,73	108,19	108,19	10,1	3,2	32	288 (288)	5,2 (5,2)	
00	2012	11	28	06	18	51,94	105,57	108,00	11,7	9,5	68	49 (67)	6,1 (5,9)	
	2012	10	30	10	11	53,40	108,00	108,00	11,7	9,5	68	71 (70)	8,0 (8,0)	
	2012	10	18	18	48	52,39	106,59	106,59	9,5	9,5	20	131 (137)	5,3 (5,2)	
	2012	10	10	05	23	53,24	108,49	108,49	12,0	12,0	75	290 (290)	7,1 (7,1)	
	2012	10	01	17	48	53,28	108,50	108,50	11,8	11,8	70	280 (292)	7,0 (6,9)	
	2012	09	12	23	24	52,57	106,51	106,51	9,9	9,9	28	134 (137)	5,7 (5,6)	
	2012	08	26	10	43	51,70	104,60	104,60	10,8	10,8	46	25 (44)	8,0 (7,6)	
	2012	08	19	16	36	51,64	101,36	101,36	10,1	10,1	32	240 (226)	5,3 (5,4)	
	2012	08	14	18	57	51,46	104,17	104,17	10,4	10,4	38	67 (78)	6,8 (6,6)	
	2012	08	07	21	00	52,20	105,90	105,90	9,5	9,5	20	78 (89)	5,7 (5,7)	

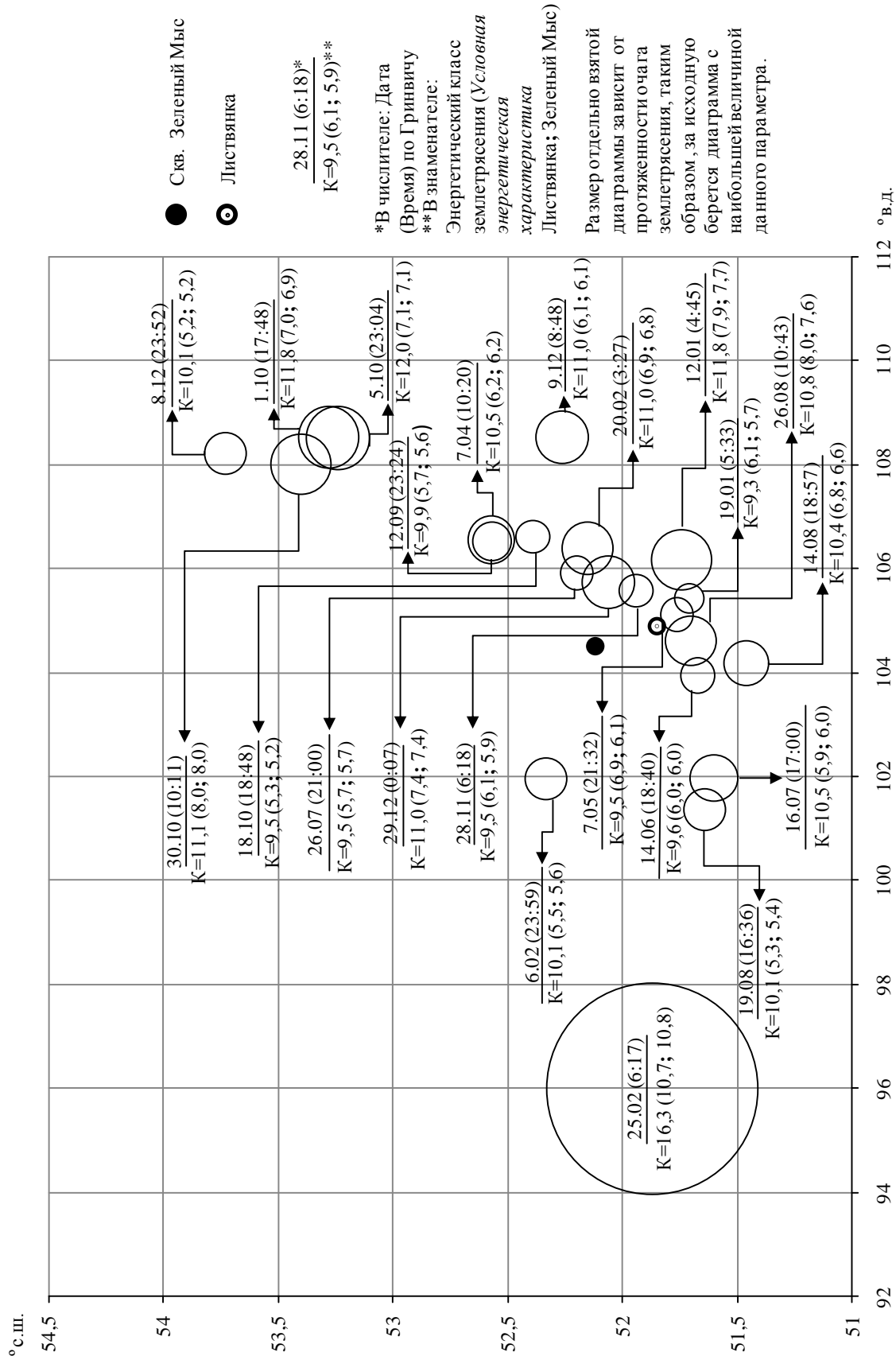


Рис. 1. Землетрясения 2012 г. с условной энергетической характеристикой $K' \geq 5$ в пунктах мониторинга

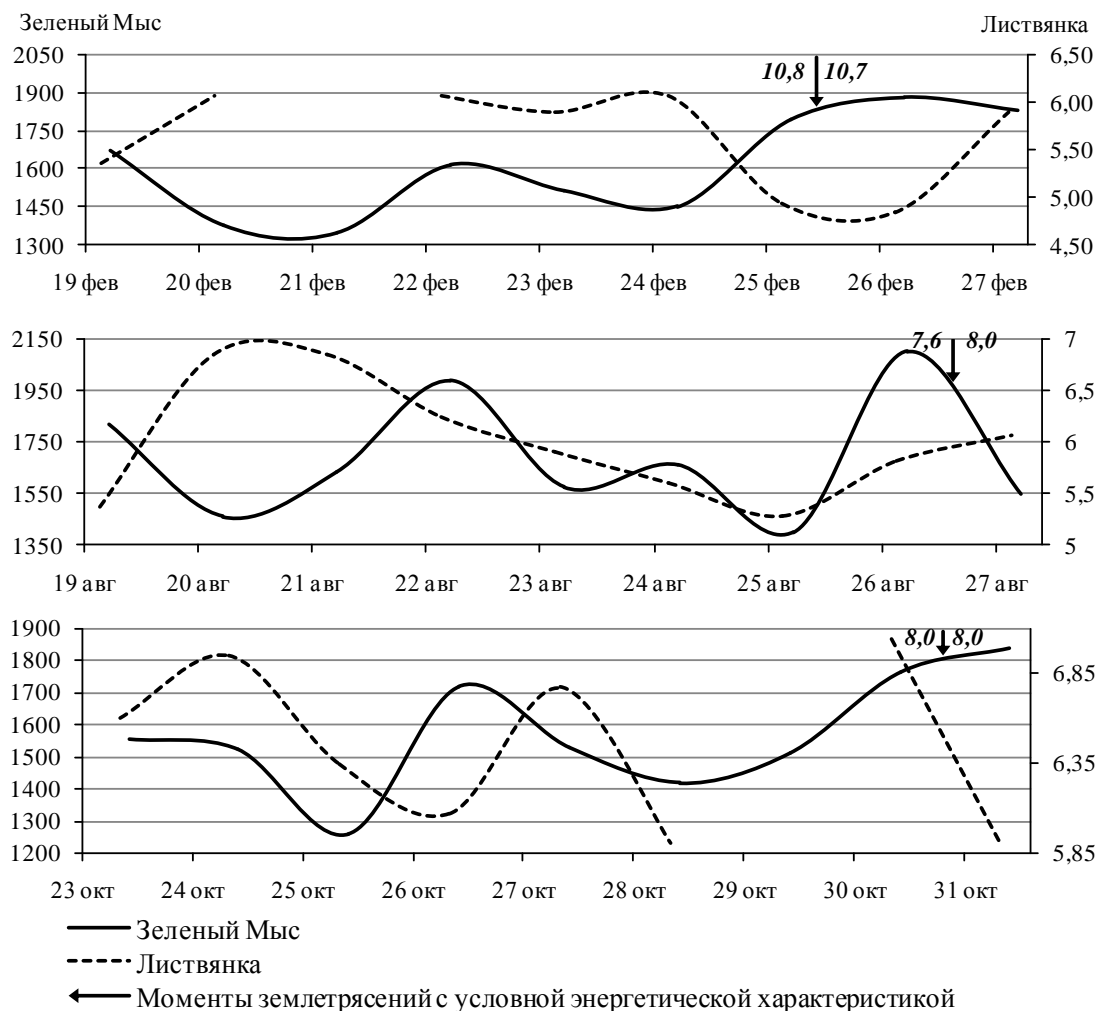


Рис. 2. Вариации концентраций гелия ($n \cdot 10^{-5}$ мл/л) в пунктах мониторинга в соотношении с моментами сейсмических событий в 2012 г.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Wyss M., Habermann R.E. Precursory seismic quiescence // Physical and observational basis for intermediate-term earthquake prediction: Open-file report 87-591. Menlo-Park, Ca. 1987. Vol. 2. Pp. 526–536.
- Добровольский И. П. Математическая теория подготовки и прогноза тектонического землетрясения. М.: Физматлит. 2009. 240 с.
- Уломов В. И., Мавашев Б. З. О предвестнике сильного тектонического землетрясения // Докл. АН СССР. 1967. Т. 176. № 2. С. 319–321.
- Уломов В. И. Внимание! Землетрясение! Ташкент: Изд-во Узбекистан. 1971. 160 с.
- Цзян Ф. Хайченское землетрясение 4 февраля 1975 г. Пекин: Землетрясение: пер. с кит. 1978. 90 с.
- Барсуков В. Л., Беляев А. А., Серебренников В. С. Вестники беды: о поиске средств геохимического прогноза землетрясений. М.: Наука. 1989. 136 с.
- Пиннекер Е. В., Ясько В. Г., Шкандрий Б. О. Результаты изучения гидрогеологических предвестников землетрясений в Байкальской рифтовой области: Гидрогеохимические предвестники землетрясений. М.: Наука. 1985. С. 259–265.
- Semenov R. M. Earthquake of 27 August 2008 in the Southern Baikal Area its Precursors // Geodynamics & Tectonophysics. 2010. Vol. 1. № 4. Pp. 441–447.
- 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.
- Султанходжаев А. Н. Гидрогеосейсмологические предвестники землетрясений // Узб. геол. журнал. 1979. № 2. С. 3–13.
- Ризниченко Ю. В. Проблемы сейсмологии: избр. тр. М.: Наука. 1985. 408 с.