

## ЗАВИСИМОСТЬ ВРЕМЕНИ ПРОЯВЛЕНИЯ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКОГО ПРЕДВЕСТНИКА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЮЖНОМ ПРИБАЙКАЛЬЕ ОТ ИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КЛАССОВ И ЭПИЦЕНТРАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЙ

© 2019 г. Р. М. Семенов<sup>а, б, \*</sup>, М. Н. Лопатин<sup>с, д, \*\*</sup>, В. В. Чечельницкий<sup>е, \*\*\*</sup>

<sup>а</sup>Институт земной коры СО РАН

Россия, 664033 Иркутск, ул. Лермонтова, 128

<sup>б</sup>Иркутский государственный университет путей сообщения

Россия, 664074 Иркутск, ул. Чернышевского, 15

<sup>с</sup>Иркутский государственный университет

Россия, 664003 Иркутск, ул. Карла Маркса, 1

<sup>д</sup>АО «Урангеологоразведка» ОП «Сосновгеология»

Россия, 664039 Иркутск, ул. Гоголя, 53

<sup>е</sup>Байкальский филиал ФИЦ ЕГС РАН,

Россия, 664033 Иркутск, ул. Лермонтова, 128

e-mail: \*semenov@crust.irk.ru, \*\*flamewolf@mail.ru,

\*\*\*chechel@crust.irk.ru

Поступила в редакцию 20.07.2017 г.

После доработки 30.08.2017 г.

Принята к публикации 18.09.2017 г.

Исследованы концентрации растворенного гелия в воде самоизливающейся скважины в Южном Прибайкалье. Установлено, что накануне землетрясений они испытывают определенные вариации. На основании полученных данных рассчитана корреляционная зависимость функции  $\lg TR$  (логарифм произведения времени предвестника сейсмического события на его эпицентрального расстояние) от энергетического класса землетрясения. Предложено рассматривать вариации концентраций гелия в качестве краткосрочного предвестника землетрясений.

**Ключевые слова:** Южное Прибайкалье, подземные воды, гелий, гидрогеохимические вариации, экстремум, энергетический класс, предвестник землетрясения

DOI: 10.31857/S0016-7525643331-340

### ВВЕДЕНИЕ

Во многих сейсмоактивных регионах России, да и в других странах, с целью обнаружения предвестников времени возникновения землетрясений проводятся гидрогеохимические исследования по изучению концентраций химического и газового состава подземных вод. Не является исключением в этом отношении и территория Прибайкалья – одна из наиболее сейсмически активных в России. Ее современная геодинамика определяется преимущественно развитием рифтового процесса. Подобные исследования в данном районе начались еще в 70-е годы прошлого столетия, причем гидрогеохимические наблюдения проводились как на естественных очагах разгрузки подземных

вод, так и в скважинах. При этом были получены следующие результаты. Так, например, накануне Уоянского землетрясения 2 ноября 1976 г. были отмечены изменения концентраций гелия в воде Окусиканского источника, расположенного на юго-восточном склоне Северо-Муйского хребта Байкальской рифтовой зоны (Киссин и др., 1982). 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 эпицентрального расстояния до водозабора значительны (Пиннекер и др., 1985).

Наблюдения за водопроявлением в разведочно-дренажной штольне (РДШ) Северо-Муйского тоннеля позволили оценить влияние сейсмической активности на изменение содержания того или иного параметра состава воды (Шабынин, 2004). Сравнительная кратковременность мониторинговых исследований, а также отсутствие в это время относительно сильных подземных толчков с эпицентрами близ пунктов наблюдений, не позволили прийти к скольконибудь ощутимым результатам по поиску краткосрочных предвестников землетрясений. Тем не менее, в результате них и некоторых других работ, проведенных в Прибайкалье, были предположительно намечены первые гидрогеохимические предвестники времени возникновения землетрясений.

В данной статье изложены результаты изучения концентраций растворенного гелия в подземных водах Прибайкалья и их вариации, обусловленные сейсмическим процессом. Полученные данные предложено рассматривать в качестве краткосрочного предвестника землетрясений.

### ВАРИАЦИИ КОНЦЕНТРАЦИЙ РАСТВОРЕННОГО ГЕЛИЯ В ГЛУБИННОЙ ВОДЕ БАЙКАЛА

С целью выявления предвестников времени возникновения землетрясений в Южном Прибайкалье нами в 2004 г. начаты исследования по изучению вариаций концентраций растворенного гелия в глубинной воде Байкала. Пробы воды отбираются по стандартной методике ежедневно в 9 часов утра в южной части Байкала в районе пос. Листвянка в 1700 м от берега на глубине 500 м и в 150 м от поверхности дна. Для измерения содержания растворенного гелия в пробах используется прибор ИНГЕМ-1 (индикатор гелия магниторазрядный). По результатам обработки полученных данных строятся графики вариаций концентраций, что позволяет по характерным формам кривых на графиках фиксировать краткосрочные предвестники землетрясений.

Наблюдения за изменением содержания гелия в глубинной воде Байкала в южной его части были предопределены тем, что здесь проходит юго-восточная часть Главного Саянского

разлома, а также находится узел пересечения Обручевского и Ангарского разломов, по которым неоднократно происходили как слабые, так и довольно сильные землетрясения.

По результатам изучения содержания гелия были рассчитаны их среднее значение и среднеквадратичное отклонение. Среднее значение ( $5.96 \times 10^{-5}$  мл/л) оказалось несколько выше глобального фонового содержания гелия в пресных водах, контактирующих с атмосферой, а среднеквадратичное отклонение ( $s$ ) составило  $0.64 \times 10^{-5}$  мл/л.

Перед Култукским землетрясением 27 августа 2008 г. с  $M=6.3$  в южной части Байкала в содержаниях гелия отмечалось следующее. С 4 по 18 августа в содержании гелия стали заметны колебания. Сначала его количество увеличилось до  $6.83 \times 10^{-5}$  мл/л, затем уменьшилось до  $5.61 \times 10^{-5}$  мл/л, далее снова возросло до  $6.02 \times 10^{-5}$  мл/л, а с 20 до 24 августа – оставалось в пределах среднего значения ( $5.96 \times 10^{-5}$  мл/л). Стоит отметить, что содержание гелия ни разу не опускалось существенно ниже средних значений. Однако за два дня до землетрясения содержание гелия уменьшилось ниже среднего до  $4.79 \times 10^{-5}$  мл/л, что соответствовало значению двум среднеквадратичным отклонениям, и оставалось на этом уровне в течение суток 26 августа, а утром следующего дня за два часа до сейсмического события повысилось до  $5.61 \times 10^{-5}$  мл/л. Сразу же после основного толчка и спустя час после землетрясения – повысилось до  $6.02 \times 10^{-5}$  мл/л., после чего начался его спад, и 28 августа 2008 г. содержание гелия снова установилось на уровне его средних значений (рис. 1) (Semenov, 2010). Такие изменения в содержании гелия, на наш взгляд, согласуются с дилатантно-диффузионной моделью подготовки и реализацией землетрясения (Scholz et al., 1973).

### МОДЕЛЬ ПОДГОТОВКИ И РЕАЛИЗАЦИИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Как известно, тектонические землетрясения обусловлены разрядкой напряжений в земной коре в области их очагов. При этом на стадии подготовки основного толчка по мере возрастания упругих напряжений в породах происходит образование многочисленных трещин, сопровождающихся возникновением упругих колебаний

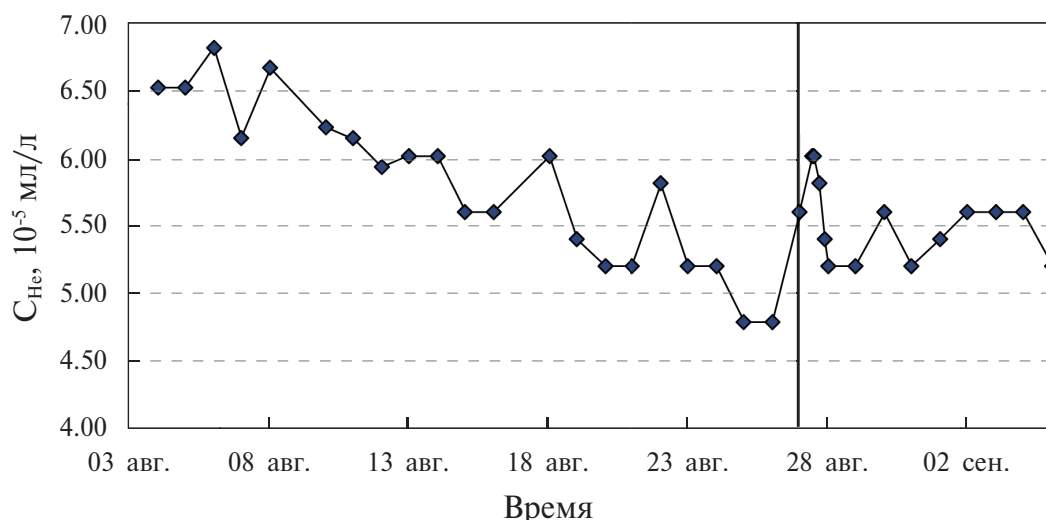


Рис. 1. График изменений содержания гелия ( $C_{He}$ ) в глубинной воде Байкала перед Култукским землетрясением 27.08.2008 г. (вертикальная линия на графике).

от долей герца до 10–30 кГц. Распространение этих колебаний в горных породах приводит к ослаблению адсорбционных сил, удерживающих газ на стенках пор и пустот внутри пород, десорбции эманаций и переходу «связанного» газа в свободный (Горбушина и др., 1972; Хитаров и др., 1974), вследствие чего происходит обогащение воды газами. Это, в частности, подтверждено результатами экспериментальных лабораторных исследований Л.Л. Шабынина с соавторами (Шабынин и др., 1983). Ими было установлено, что под влиянием ультразвуковых колебаний на смесь гранитной крошки с водой происходит обогащение воды некоторыми компонентами ионно-солевого состава и газами.

Кроме этого, ультразвуковые колебания, проходя через обводненные горные породы, ускоряют диффузионный процесс выделения газов и обогащают водную фазу газами (Грацинский и др., 1967). В образовавшиеся трещины мигрируют большие объемы вод вместе с растворенными в них газами. По-видимому, именно в это время происходило резкое уменьшение содержания гелия в подземных водах. При дальнейшем повышении напряжений мелкие трещины объединяются, порождая магистральный разрыв, приводящий к землетрясению, с которым связано резкое выделение растворенного гелия из пор и трещин и повышение его содержания в подземных водах. По мнению Э. М. Прасолова, близповерхностные воды дают о себе знать за день до землетрясения (Прасолов, 1990). После

землетрясения происходит уплотнение пород, закрытие трещин, и, следовательно, восстанавливается прежний режим выхода гелия, вследствие чего его содержание приходит к своим фоновым значениям, которые незначительно нарушаются вследствие развития афтершокового процесса (Карус и др., 1974).

Эти изменения в содержаниях гелия (понижение содержаний ниже фоновых значений, а затем их резкое повышение) накануне землетрясения вполне могли свидетельствовать о приближении землетрясения, т.к., по мнению академика РАН В.Л. Барсукова с коллегами (Барсуков и др., 1989, 1992), занимавшихся этими вопросами, именно вариации в содержаниях, а даже не абсолютные их величины, чаще всего и являются предвестниками землетрясений.

Ранее нами было сделано предположение, что предсейсмические вариации растворенного гелия в глубинной воде Байкала объясняются дилатантно-диффузионной моделью подготовки и реализацией очага землетрясения (рис. 2) (Семенов, Смекалин, 2011). Стадиям подготовки последовательно соответствуют увеличение концентраций гелия, связанное с нарастанием упругой деформации, затем постепенное их уменьшение, обусловленное процессом дилатансии и, наконец, их резкое увеличение накануне и сразу же после подземного толчка, связанное с уплотнением пород и закрытием трещин.

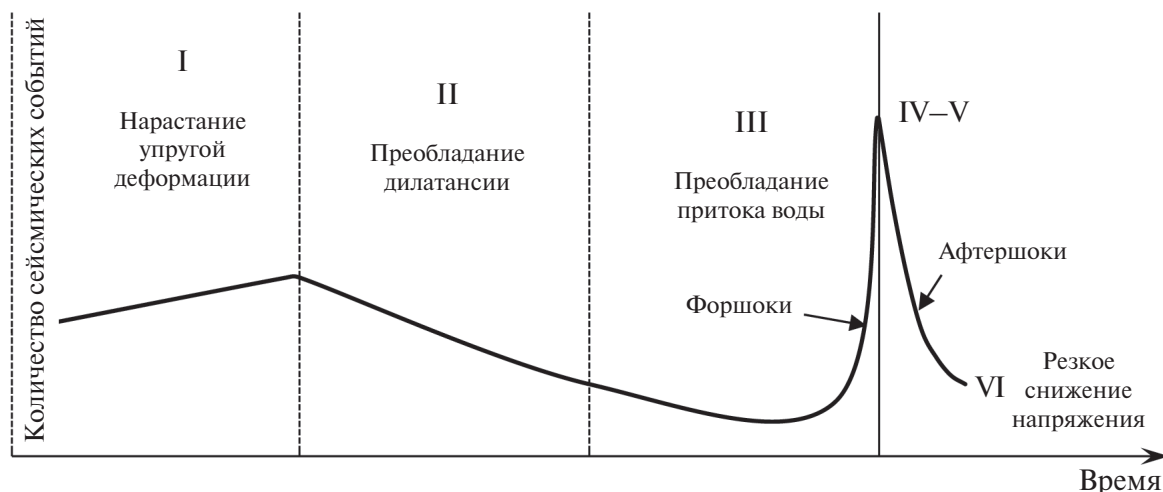


Рис. 2. Дилатантно-диффузионная модель подготовки и реализации тектонического землетрясения. Вертикальная сплошная линия — сейсмическое событие (этап IV–V) (Scholz et al., 1973).

### ИССЛЕДОВАНИЯ ВАРИАЦИЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ РАСТВОРЕННОГО ГЕЛИЯ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ ЮЖНОГО ПРИБАЙКАЛЯ

С 2009 г. мы начали изучение концентраций растворенного гелия в подземных водах в самоизливающейся скважине глубиной 787 м, расположенной в пос. Зеленый Мыс в 20 км севернее южной части оз. Байкал. Скважина пробурена в грабенообразной долине р. Ангары, приуроченной к Ангарскому разлому (Карта разломов Юга Восточной Сибири, 1982). Этот разлом на геологической карте показан в виде скрытых под четвертичными отложениями тектонических нарушений по обоим берегам р. Ангары. Согласно геологической съемке 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.

Вариации растворенного гелия перед землетрясениями в подземных водах аналогично си-

туации в глубинной воде Байкала объясняются дилатантно-диффузионной моделью подготовки и реализацией очага землетрясения.

За последние 5 лет нами построены графики вариаций концентрации гелия накануне 47 землетрясений различных энергетических классов, очаги которых располагались на различных расстояниях от пункта гидрогеохимических наблюдений (по данным БФ ФИЦ ЕГС РАН, [www.seis-bykl.ru](http://www.seis-bykl.ru)). При этом в расчет принимались лишь те из них, условная энергетическая характеристика ( $K'$ ) которых в пункте гидрогеохимических наблюдений соответствовала условию:  $K' \geq 5.0$  (см. табл.), которые, по мнению В.Л. Барсукова с коллегами (Барсуков и др., 1989, 1992), могли оказывать влияние на изменения концентраций 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. Таким образом, условная энергетическая характеристика имеет зависимость не только от энергии сейсмического события, но и от эпицентрального расстояния до него.

Известно, что в процессе подготовки землетрясения различные параметры горных пород

**Таблица.** Землетрясения Южного Прибайкалья, условная энергетическая характеристика ( $K'$ ) которых в пункте гидрохимических наблюдений составляла  $\geq 5.0$

Дата землетрясения			Время (по Гринвичу)		Координаты эпицентра		Энергетический класс землетрясения	Эпицентральное расстояние до водозабора (пункта гидрохимических наблюдений)	Условная энергетическая характеристика землетрясения в пункте гидрохимических наблюдений	Предвестники	
год	м-ц	день	час	мин.	с.ш.	в.д.				$K$	$R$ , км
2009	06	14	10	30	51.70	104.07	10.0	58	5.6	2.5	2.16
2009	07	26	05	27	52.59	106.84	10.9	165	5.3	1.5	2.39
2010	02	08	11	55	51.90	105.56	10.3	70	5.7	1.5	2.02
2010	02	25	04	27	52.19	105.84	11.7	87	6.8	3.5	2.48
2010	03	19	09	30	54.50	110.08	13.6	450	6.9	2.5	3.31
2010	07	26	07	18	52.57	106.49	10.9	137	5.5	4.0	2.44
2010	09	27	13	00	53.32	108.47	12.6	290	6.4	2.5	2.86
2010	10	27	13	18	52.04	105.68	9.9	72	5.3	1.5	2.03
2010	10	31	17	29	51.82	105.26	9.6	52	5.2	1.5	1.89
2011	02	01	12	53	50.98	107.85	13.2	260	7.1	2.5	2.81
2011	06	02	12	30	51.86	105.28	9.6	57	5.2	2.5	2.15
2011	07	16	18	38	52.88	108.49	14.5	320	8.2	5.0	3.20
2011	10	14	07	32	52.77	107.19	11.1	195	5.4	1.5	2.47
2011	10	28	15	33	52.92	107.23	11.4	205	5.6	0.5	2.01
2011	11	09	15	23	52.03	105.63	11.2	70	6.6	1.5	2.02
2012	01	12	04	45	51.75	106.16	11.7	115	6.5	1.5	2.24
2012	02	20	03	27	52.15	106.37	10.9	120	5.7	1.5	2.26
2012	05	07	21	32	51.73	105.15	9.4	55	5.0	2.5	2.14
2012	06	14	18	40	51.67	103.97	9.8	67	5.2	1.5	2.00
2012	08	14	18	57	51.45	104.19	10.4	80	5.6	1.5	2.02

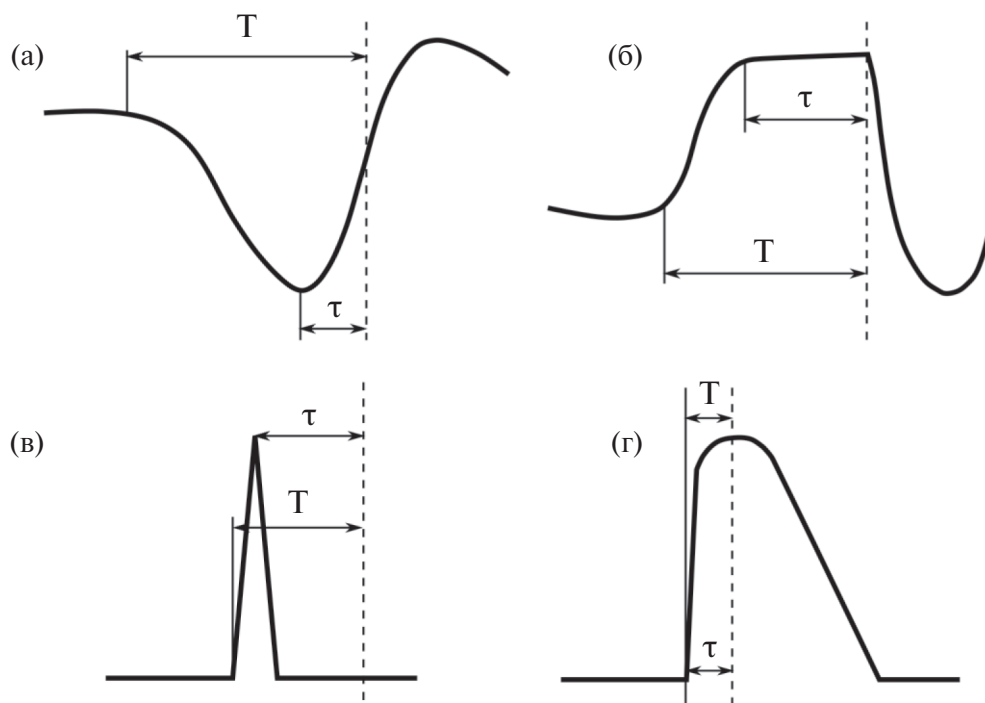
Таблица. Окончание

Дата землетрясения			Время (по Гринвичу)		Координаты эпицентра		Энергетический класс землетрясения	Эпицентральное расстояние до водозабора (пункта гидрогеохимических наблюдений)	Условная энергетическая характеристика землетрясения в пункте гидрогеохимических наблюдений	Предвестники	
год	м-ц	день	час	мин.	с.ш.	в.д.				К	R, км
2012	08	26	10	43	51.75	104.59	10.4	40	6.4	4.0	2.20
2012	10	30	10	11	53.31	108.04	11.7	270	5.6	2.5	2.83
2012	12	29	00	07	52.05	105.73	9.9	80	5.1	1.5	2.08
2013	01	04	22	23	55.25	109.18	11.8	460	5.1	1.5	2.84
2013	01	08	11	51	51.85	105.16	11.2	47	7.0	2.5	2.07
2013	03	15	21	35	51.92	105.33	9.5	55	5.1	1.5	1.92
2013	05	10	13	22	51.88	105.37	9.9	58	5.5	2.5	2.16
2013	06	07	23	16	51.68	103.87	9.9	70	5.3	1.5	2.02
2013	07	08	09	20	51.66	104.56	10.3	50	6.1	2.5	2.10
2013	08	11	18	50	51.68	104.45	9.6	47	5.4	1.5	1.85
2014	02	04	23	06	51.74	104.84	9.1	45	5.0	2.5	2.05
2014	04	25	01	44	51.59	104.41	10.5	60	6.0	1.5	1.95
2014	07	07	22	41	53.29	108.50	11.3	290	5.1	0.5	2.16
2014	07	20	06	36	51.69	104.41	9.1	46	5.0	1.5	1.84
2014	09	01	20	10	50.86	103.27	11.5	162	5.9	2.5	2.61
2014	11	01	00	51	52.56	101.25	13.6	220	7.7	3.5	2.89
2014	11	16	01	11	52.69	106.55	10.6	142	5.1	1.5	2.33
2014	12	05	18	04	51.37	100.63	13.9	290	7.7	5.5	3.20
2014	12	22	03	05	53.08	108.09	12.2	255	6.2	1.5	2.58
2015	01	05	06	04	56.10	113.75	13.0	740	5.8	1.5	3.04
2015	01	13	05	41	52.08	105.68	10.2	72	5.6	1.5	2.03
2015	04	06	07	47	53.15	108.31	12.7	275	6.6	2.5	2.84
2015	04	20	23	31	53.30	108.49	11.4	292	5.2	0.5	2.16
2015	09	05	05	00	52.06	105.70	12.4	62	7.9	4.5	2.45
2015	09	17	11	17	51.83	105.15	9.7	55	5.3	2.5	2.14
2015	09	25	23	24	54.89	111.74	13.1	565	6.2	2.0	3.05
2015	10	11	06	37	53.24	107.51	11.1	235	5.2	1.5	2.55

испытывают значительные флуктуации, причем многие из них обладают некоторыми общими свойствами, такими как переход через экстремум (Соболев, 1993), которые отражаются в гидрогеохимических вариациях.

Ранее И.Г. Киссиным и А.О. Гриневским, а также Г.В. Рябининым, Ю.М. Хаткевичем и Ю.Д. Кузьминым были установлены различные формы кривых гидрогеодинамических эффектов в фазах подготовки землетрясения и его реализации (рис. 3), которым соответствуют и другие геофизические поля и, по которым можно установить продолжительность времени предвестника землетрясения (Kissin, Grinevsky, 1990; Киссин, 1997; Рябинин, Хаткевич, 2008; Рябинин, Кузьмин, 2012). Время предвестника ( $T$ ) – это начало изменения знака или скорости деформации, т.е. наступление новой стадии в процессе подготовки землетрясения. Время экстремума ( $\tau$  – период, измеряемый в сутках, от перегиба кривой изменения знака или скорости на графике до момента землетрясения). Поэтому после регистрации точки экстремума можно определять время ожидаемого землетрясения (Киссин, 1997).

Исследования вариаций концентраций гелия в подземных водах Южного Прибайкалья показали, что кривые их вариаций на графиках здесь также характеризуются различными формами. Причем своеобразные формы кривых на графиках (наступление новой стадии в процессе подготовки землетрясения) начинают отмечаться задолго до подземного толчка, способствуя формированию среднесрочного прогноза по временному параметру. А вот характерные изменения в вариациях концентраций, сопровождающиеся появлением экстремума на графиках, отмечаются за несколько дней до сейсмического события, отображая тем самым, краткосрочный предвестник. Это отмечалось накануне Култукского землетрясения 2008 г. в Южном Прибайкалье (Семенов, Смекалин, 2011). Подобные данные отмечались В.И. Уткиным с коллегами по наблюдениям за вариациями поля радона. По их данным заметные изменения в поле радона наблюдались за 90–100 дней до сейсмического события, а характерные за 3–5 дней. Само же землетрясение произошло спустя 48 часов после достижения максимума концентрации радона (Уткин и др., 2006).



**Рис. 3.** Основные типы гидрогеохимических предвестниковых эффектов: а – бухтообразные, б – ступенчатые, в – импульсные, г – скачкообразные.  $T$  – время предвестника,  $\tau$  – время экстремума (перегиба кривой) предвестника. Пунктирной линией обозначен условный момент землетрясения (Kissin, Grinevsky, 1990; Киссин, 1997; Рябинин, Хаткевич, 2008; Рябинин, Кузьмин, 2012).

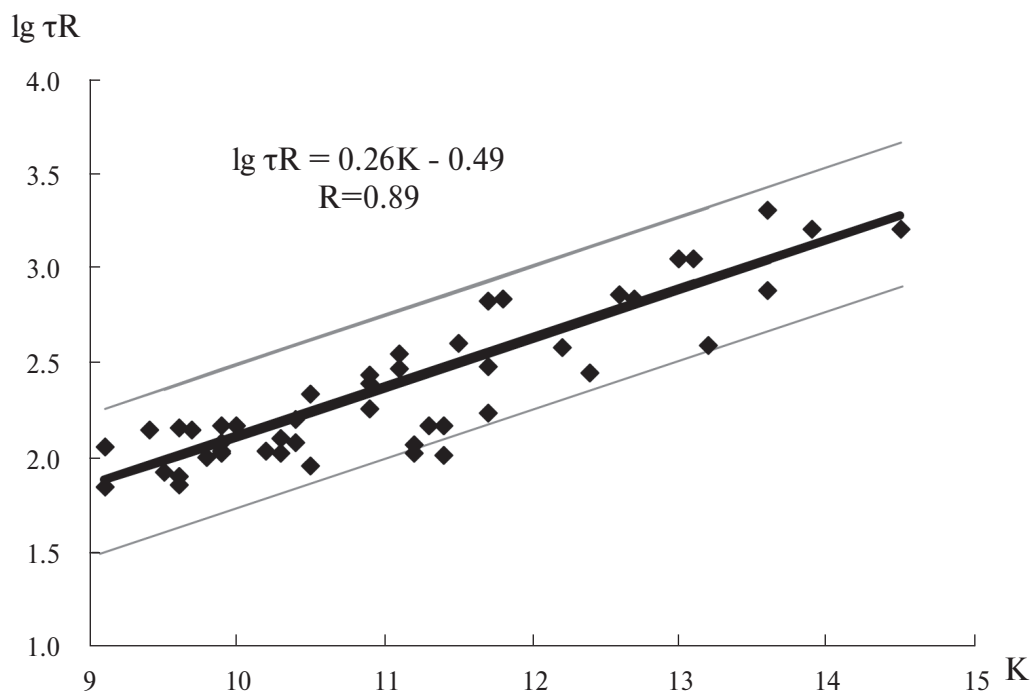


Рис. 4. Зависимость функции  $\lg \tau R$  от энергетического класса землетрясений  $K$  ( $\tau$  – в сутках,  $R$  – в км). На рисунке тонкими линиями показан 95 % доверительный интервал.

Поскольку наши исследования направлены на поиски краткосрочных предвестников землетрясений, мы рассматривали изменения концентраций гелия за несколько суток до подземного толчка. Именно в этот промежуток времени отмечаются экстремумы на графиках вариаций гелия, продолжительность времени от которых до сейсмического толчка, на наш взгляд, и соответствует краткосрочному предвестнику. По мнению Г.А. Соболева это время составляет часы-первые сутки (Соболев, 1993). Полученные данные о продолжительности времени от появления экстремума на графиках изменений концентраций гелия до сейсмического события мы принимали за краткосрочный предвестник землетрясения. Для того чтобы определить зависимость времени краткосрочного предвестника от энергетического класса землетрясения, был рассчитан коэффициент корреляции между функцией  $\tau$  и его энергетическим классом  $K$ , который оказался весьма низким.

Кстати, ранее рассчитанный А.Я. Сидорин коэффициент корреляции между функцией  $\lg T$  и энергетическим классом землетрясения, также обнаружил слабую зависимость, в то время как корреляция функции  $\lg TR$  (логарифм произведения времени предвестника на его эпи-

центральное расстояние) и энергетическим классом  $K$  оказалась значительно выше. Это позволило определить зависимость времени предвестника землетрясения от эпицентрального расстояния и его энергетического класса (Сидорин, 1979).

Используя рассмотренный подход, нами также была рассчитана зависимость функции  $\lg \tau R$  (логарифм произведения времени предвестника на эпицентрального расстояния) от энергетического класса землетрясений для Южного Прибайкалья (см. табл.). Причем, время предвестника  $\tau$  мы считали от экстремума – перегиба кривой на графиках вариаций содержания гелия накануне землетрясения до момента землетрясения. Затем на основании полученных данных были рассчитаны уравнение регрессии  $\lg \tau R = 0.26K - 0.49$ , коэффициент корреляции  $R = 0.89$ , стандартная ошибка  $s = 0.19$  единиц логарифма (рис. 4).

## ВЫВОДЫ

Исследования содержания растворенного гелия в подземных водах Южного Прибайкалья позволяет выделять экстремумы – перегибы кривых на графиках его вариаций. Продолжительность времени от экстремума до сейсмиче-



ского события, на наш взгляд, может служить в качестве краткосрочного предвестника землетрясения, которое рассчитывается из полученного уравнения для различных энергетических классов и эпицентральных расстояний землетрясений:

$$\lg t = 0.26K - \lg R - 0.49 \pm 0.19.$$

Стандартной ошибке  $s$  соответствует 68% двухсторонний доверительный интервал Согласно расчетам, краткосрочный предвестник землетрясения с  $K=11.0$  и с эпицентральной расстоянием до пункта гидрогеохимических наблюдений в 100 км будет обнаружен не менее чем за 1.5 суток до подземного толчка с вероятностью  $P=0.84$ , которая соответствует одностороннему доверительному интервалу  $-s$ . При том же энергетическом классе ( $K=11.0$ ), но при увеличении эпицентрального расстояния до 150 км предвестник появится не менее чем за 1.0 сутки до подземного толчка, а при уменьшении расстояния до 50 км он будет обнаружен уже не менее чем за 3.0 суток до землетрясения. В то же время при одинаковом эпицентральной расстоянии в 100 км, но при увеличении энергетического класса землетрясения ( $K$ ) до 12.0 время появления краткосрочного предвестника возрастает до 2.8 суток, а при уменьшении энергетического класса ( $K$ ) до 10.0 – сокращается до 0.8 суток.

#### Источник финансирования

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

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Барсуков В. Л., Беляев А. А., Серебренников В. С. (1989) Вестники беды (о поиске средств геохимического прогноза землетрясений). М.: Наука, 136 с.
- Барсуков В. Л., Беляев А. А., Бакалдин Ю. А., Игумнов В. А., Ибрагимов Т. Л., Серебренников В. С., Султанходжаев А. Н. (1992) Геохимические методы прогноза землетрясений. М.: Наука, 213 с.
- Горбушина Л. В., Тыминский В. Г., Спиридонов А. И. (1972) К вопросу о механизме образования радиогидрогеологических аномалий в сейсмоактивном районе и их значение при прогнозировании землетрясений. *Советская геология* **1**, 153–156.
- Грацинский В. Г., Горбушина Л. В., Тыминский В. Г. (1967) О выделении радиоактивных газов из образцов горных пород под действием ультразвука. *Физика Земли* **10**, 91–94.
- Карта разломов Юга Восточной Сибири (1982). Масштаб 1:1500000. Иркутск: Министерство геологии СССР, ВОСТСИБНИИГГ и МС.
- Карус Е. В., Кузнецов О. Л., Симкин Э. М., Тыминский В. Г., Уломов В. И., Файзуллин И. С. (1974) К вопросу о прогнозировании неглубоких землетрясений. *Новые данные по сейсмологии и сейсмогеологии Узбекистана* Отв. ред. В. И. Уломов. Ташкент: Изд-во «ФАН» УзССР, 292–302.
- Киссин И. Г. (1997) О соотношениях между предвестниками землетрясений и постсейсмическими эффектами. *ДАН* **354** (6), 804–807.
- Киссин И. Г., Пиннекер Е. В., Ясько В. Г. (1982) Подземная гидросфера и сейсмические процессы. *Основы гидрогеологии*. Новосибирск: Наука, 57–77.
- Пиннекер Е. В., Ясько В. Г., Шкандрий Б. О. (1985) Результаты изучения гидрогеологических предвестников землетрясений в Байкальской рифтовой области. *Гидрогеохимические предвестники землетрясений*. М.: Наука, 259–265.
- Прасолов Э. М. (1990) Изотопная геохимия и происхождение природных газов. Л.: Недра, 283 с.
- Рябинин Г. В., Хаткевич Ю. М. (2008) Морфологическая типизация и анализ гидрогеохимических предвестников землетрясений (на примере юго-восточной части полуострова Камчатка) *Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России. Тр. региональной научно-технической конференции 2*. Отв. ред.: В. Н. Чебров, В. А. Салтыков. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 49–53.
- Рябинин Г. В., Кузьмин Ю. Д. (2012) Гидрогеохимический мониторинг сеймотектонических процессов на Камчатке. Современное состояние, результаты, перспективы развития *Сейсмологические и геофизические исследования на Камчатке*. Под ред. Е. И. Гордеева, В. Н. Чеброва. Петропавловск-Камчатский: Холд. комп. «Новая книга», 211–235.
- Семенов Р. М., Смекалин О. П. (2011) Сильное землетрясение на Байкале 27 августа 2008 г. и его предвестники. *Геология и геофизика* **52** (4), 521–528.
- Сидорин А. Я. (1979) Зависимость времени проявления предвестников землетрясений от эпицентрального расстояния. *ДАН* **245** (4), 825–828.
- Соболев Г. А. (1993) Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 313 с.
- Уткин В. И., Мамыров Э., Канн М. В., Кривашеев С. В., Юрков А. К., Косякин И. И., Шишканов А. Н. (2006) Мониторинг радона при изучении процесса подготовки тектонического землетрясения на Северном Тянь-Шане. *Физика Земли* **9**, 61–70.
- Хитаров Н. И., Войтов Г. И., Лебедев В. С., Султанходжаев А. Н., Уломов В. И., Тыминский В. Г., Горбушина Л. В., Спиридонов А. И., Гнипп Л. В., Осика Д. Г., Каспаров С. А. (1974) О геохимических эффектах сопутствующих тектоническим землетрясениям *Новые данные по сейсмологии и сейсмогеологии Узбекистана*. Ташкент: Изд-во «ФАН» УзССР, 303–330.

Шабынин Л. Л. (2004) Гидрогеологические условия Северо-Муйского тоннеля БАМ. Иркутск: Изд-во ИргТУ, 94 с.

Шабынин Л. Л., Найдич В. И., Новиков В. М. (1983) О механизме формирования гидрогеохимических предвестников землетрясений. *Гидрогеохимические исследования на прогностических полигонах: тез. докл. Всесоюзного совещания*. Алма-Ата: Наука, 99–101.

Kissin J. G., Grinevsky A. O. (1990) Main features of hydrogeodynamic earthquake precursors. *Tectonophysics* **178** (2–4), 277–286.

Scholz C. H., Sykes L. R., Aggarwal Y. P. (1973) Earthquake prediction: a physical basis. *Science* **181**, 803–810.

Semenov R.M. (2010) Earthquake of 27 August 2008 in the Southern Baikal area its precursors. *Geodynamics & Tectonophysics* **1** (4), 441–447.

## DEPENDENCE OF THE MANIFESTATION'S TIME OF A HYDROCHEMICAL EARTHQUAKE FORECAST IN THE SOUTHERN PART OF THE LAKE BAIKAL FROM THEIR ENERGY CLASSES AND EPICENTRAL DISTANCES

R. M. Semenov<sup>a, b, \*</sup>, M. N. Lopatin<sup>c, d, \*\*</sup>, V. V. Chechel'nitskii<sup>e, \*\*\*</sup>

<sup>a</sup> Institute of the Earth's Crust SB RAS  
664033 Russia, Irkutsk, 128 Lermontova St.

<sup>b</sup> Irkutsk State Transport University  
664074 Russia, Irkutsk, 15 Chernyshevsky St.

<sup>c</sup> Irkutsk State University  
664003 Russia, Irkutsk, 1 Karl Marx St.

<sup>d</sup> Joint-stock company «Urangologorazvedka» Separate subdivision «Sosnovgeology»  
664039 Russia, Irkutsk, 53 Gogol St.

<sup>e</sup> Baikal Branch GS RAS  
664033 Russia, Irkutsk, 128 Lermontova St.

e-mail: \*semenov@crust.irk.ru; \*\*flamewolf@mail.ru; \*\*\*chechel@crust.irk.ru

Received: 20.07.2017

Received version received: 30.08.2017

Accepted: 18.09.2017

Have been studied the concentrations of dissolved helium in the water of a artesian well in the Southern Cis-Baikal region. It is established that on the eve of earthquakes they experience certain variations. Based on the obtained data, the correlation function  $\lg \tau R$  (the logarithm of the time product of the harbinger of the seismic event at its epicentral distance) is calculated from the energy class of the earthquake. It is proposed to consider variations in the concentration of helium as a short-term precursor of earthquakes.

**Keywords:** Southern Cis-Baikal region, groundwater, helium, hydrogeochemical variations, extremum, energy class, earthquake precursor

**(For citation):** Semenov R.M., Lopatin M.N., Chechel'nitskii V.V. Dependence of the Manifestation's time of a Hydrochemical Earthquake Forecast in the Southern Part of the Lake Baikal from their Energy Classes and Epicentral Distances. *Geokhimiya*. 2019;64(3):331-340. DOI: 10.31857/S0016-7525643331-340