



EARTHQUAKE OF 27 AUGUST 2008 IN THE SOUTHERN BAIKAL AREA AND ITS PRECURSORS

R. M. Semenov

Institute of Earth's Crust, Siberian branch of RAS, 664033, Irkutsk, Lermontov street, 128, Russia

Abstract: On 27 August 2008, a strong earthquake occurred in the Southern Baikal area. Its focus was located within the Baikal rift zone which characterized with high seismicity. The general location and approximate strength of the earthquake were thus expectable, whereas the shock occurred at an unexpected time, as usual. The article provides a brief review of the geological environment and macro-seismic effects of the earthquake. It also reviews a set of seismic and hydrogeochemical indicators which are interpreted as precursors of the given earthquake. Considering such precursors, the fact that the Baikal deepwater helium content had changed before the main shock was recorded for the first time in the region under study.

Keywords: earthquake, magnitude of earthquake, seismic zones, forecast of earthquakes, earthquake precursors.

Recommended by V.S. Imayev 12 November 2010

Semenov R.M. Earthquake of 27 August 2008 in the Southern Baikal area and its precursors // Geodynamics & Tectonophysics. 2010. V. 1. № 4. P. 441–447.

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 27.08.2008 ГОДА НА ЮГЕ БАЙКАЛА И ЕГО ПРЕДВЕСТНИКИ

Р. М. Семенов

Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия

Аннотация: 27 августа 2008 года на юге Байкала произошло сильное землетрясение. Его очаг располагался в пределах высокосейсмичной Байкальской рифтовой зоны, так что его общее местоположение и примерная сила не были неожиданными. Внезапным, как всегда, оказалось время возникновения подземного толчка. В статье кратко рассматриваются геологические условия возникновения землетрясения, его макросейсмические последствия и некоторые сейсмолого-гидрогеохимические данные, рассматриваемые как предвестники. Среди них впервые для данного района зафиксированы изменения содержания гелия в глубинной воде Байкала, предшествующие основному толчку.

Ключевые слова: землетрясение, магнитуда, сейсмические зоны, предсказание землетрясений, предвестники землетрясений.

ВВЕДЕНИЕ

Прибайкалье относится к числу высокосейсмичных районов России. Здесь известны землетрясения с магнитудой до 7.5 и интенсивностью сотрясений на поверхности до 10–11 баллов. Высокая сейсмичность Прибайкалья обусловлена его расположением в границах тектонически активной в кайнозой Байкальской рифтовой зоны.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 27 АВГУСТА 2008 Г.

27 августа 2008 г. в 10 час. 35 мин. местного времени (в 01 час. 35 мин. по Гринвичу) на юге Байкала произошло сильное землетрясение. Магнитуда землетрясения составляла 6.3 ($K=15.2$), глубина очага 16 км, интенсивность сейсмических сотрясений в эпицентре достигала 8 баллов по шкале MSK-64. Землетрясение ощущалось на большой территории Сибири – от г. Красноярска на западе до г. Читы на востоке и от г. Северобайкальска на севере до г. Улан-Батора в Монголии на юге. Максимальные сейсмические сотрясения отмечались в пос. Култук (по которому и получило свое название землетрясение), расположенном на побережье Байкала в 28 км от эпицентра. В поселке отмечалось массовое падение печных труб (рис. 1), обрушение слабозакрепленных наружных кирпичных стен и внутренних перегородок в домах, появление трещин в стенах зданий, откалывание кусков штукатурки с потолков и стен, падение люстр и т.д. В окрестностях поселка в почве и дорожных покрытиях появились трещины, на крутых склонах возникли камнепады (рис. 2), оползни и осыпи. Сила сотрясений в Култуке достигала 7–8 баллов.

Очаг землетрясения располагался в пределах зоны современной деструкции литосферы [Шерман и др., 2002; Шерман, 2009] в Байкальской рифтовой зоне, характеризующейся высокой неотектонической и современной геодинамической активностью и, как следствие этого, высокой сейсмичностью. В этой части Байкала и ранее неоднократно отмечались сильные землетрясения с магнитудой до 7. На карте общего сейсмического районирования (ОСР-97) территории России [Комплект карт..., 1999] этот район отнесен к 9–10-балльному, так что по своим местоположению и силе очаг землетрясения 27 августа 2008 г. оказался вполне прогнозируемым. Неожиданным, как всегда, оказалось время возникновения землетрясения. Тем не менее некоторые данные могли свидетельствовать о его приближении.

ПРЕДВЕСТНИКИ

Предвестниками времени возникновения землетрясений могут служить различные геологические, геофизические, гидрогеологические, геохимические, биологические и другие данные, многие из которых были выявлены перед Ташкентским землетрясением



Рис. 1. Массовое падение печных труб в пос. Култук.

Fig. 1. Mass fall of chimneys in the Kultuk settlement.

ем 1966 г. в Узбекистане [Ташкентское землетрясение, 1971]. Тогда было установлено, что многие из перечисленных геолого-геофизических полей существенно варьируются накануне землетрясения, испытывая повышение или понижение своих значений. Дальнейшие исследования в этом направлении позволили установить, что началом предвестника является временной интервал от устойчивого превышения измеряемой величины геофизического (геохимического) поля порога предвестника до момента землетрясения. Порог предвестника – два среднеквадратичных отклонения от среднефоновое значения геофизического поля [Зубков, 1983; Барсуков и др., 1989].

Среди большого числа предвестников землетрясений существуют сейсмологические, гидрогеохи-



Рис. 2. Камнепад в районе пос. Култук.

Fig. 2. Rock fall near the Kultuk settlement.

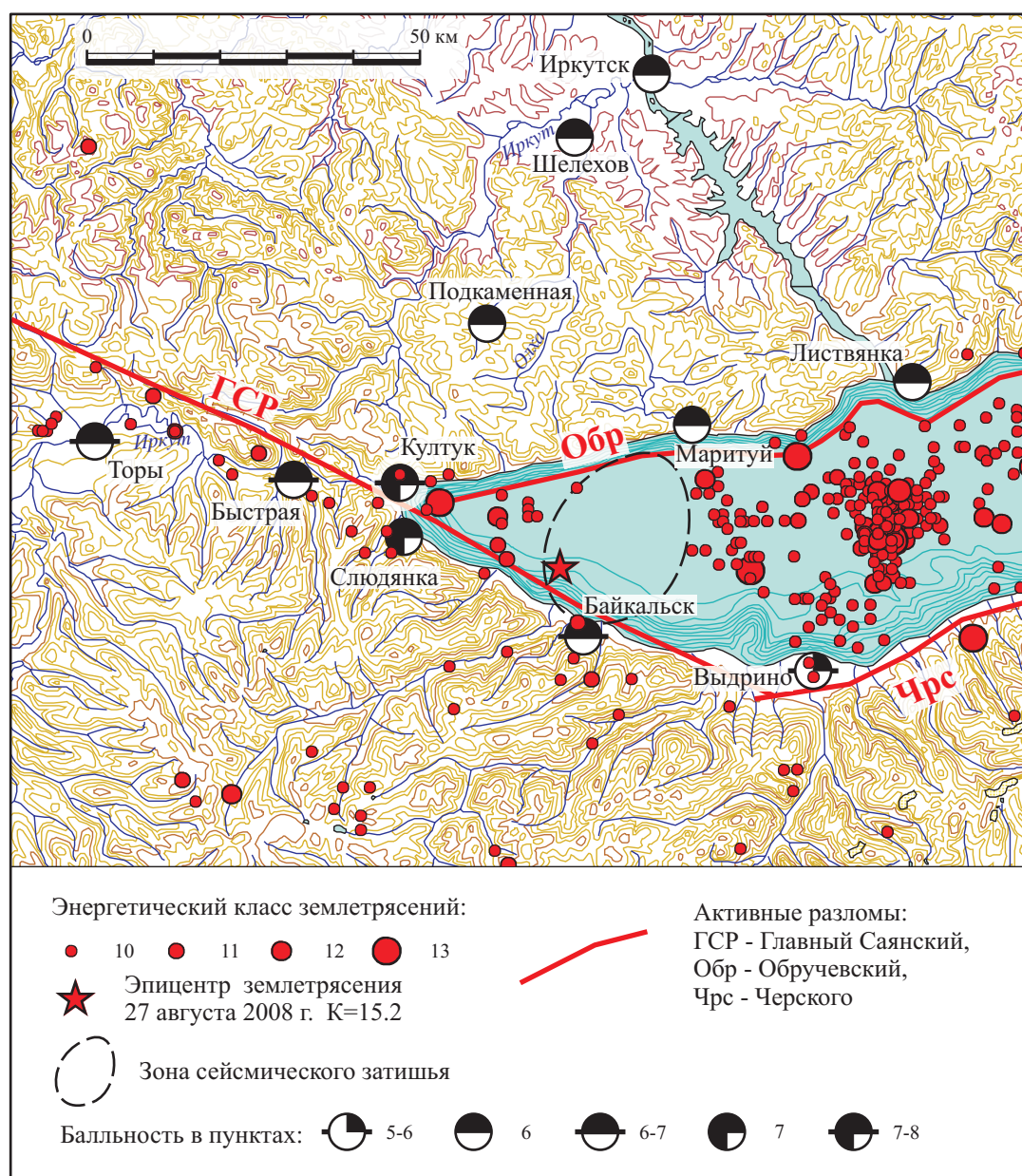


Рис. 3. Местоположение эпицентра землетрясения 27.08.2008 г.

Fig. 3. The location of the earthquake epicenter dated 27 August 2008.

мические и другие [Соболев, 2003]. Сейсмологические предвестники основаны на изучении изменений сейсмического режима в области подготовки очага землетрясения, а гидрогеохимические – на изменениях содержаний различных газов в подземных водах. Они и рассмотрены в предлагаемой статье.

Сейсмологические предвестники

Изучение сейсмического режима показывает, что в некоторых сейсмоактивных районах перед сильными землетрясениями в области подготовки их очагов отмечаются районы сейсмического затишья,

в которых отсутствуют эпицентры не только умеренных, но и слабых подземных толчков. Их размеры и продолжительность существования указывают на место и силу готовящегося подземного удара [Соболев и др., 1995; Соболев, 2003]. Ретроспективное изучение изменения сейсмического режима в северо-восточной части Байкальской рифтовой зоны перед землетрясениями с $M=5.5-6.0$ было проведено автором данной статьи [Семенов, 2007]. В результате исследований подтвердилось возникновение и существование в течение определенного времени перед сильными землетрясениями в их эпицентральных областях зон сейсмического затишья. Площади таких зон составляли сотни квадрат-

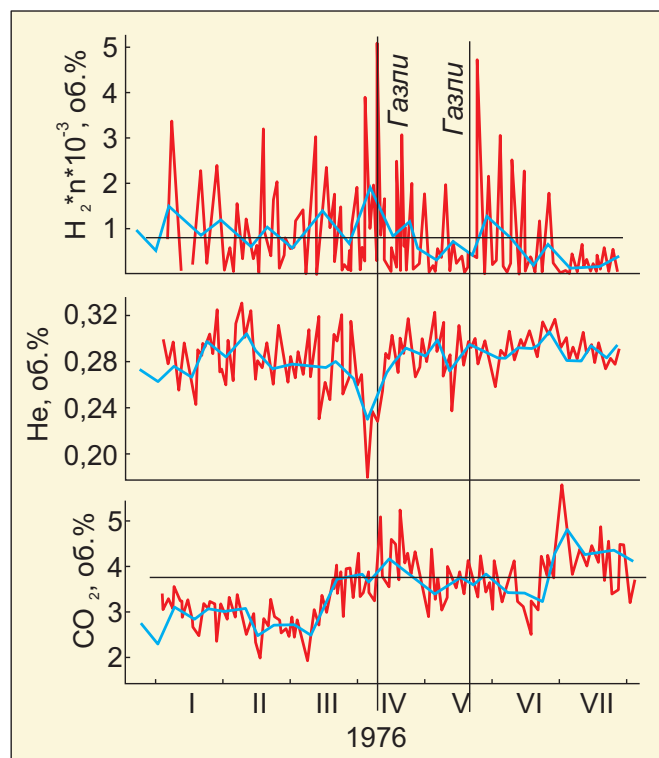


Рис. 4. Изменение газового состава подземных вод Ташкентского геодинамического полигона на период Газлийских землетрясений 1976 г.

Fig. 4. Change of gas composition of the underground waters of the Tashkent geodynamic polygon during the period of Gazli earthquakes of 1976.

ных километров, а длительность их существования – от года до полутора лет.

Эпицентральная область Култукского землетрясения также характеризовалась зоной сейсмического затишья площадью около 600 км², в пределах которой в течение, по крайней мере, последних 50 лет не было землетрясений с $K \geq 10$ ($M \geq 3.3$), в то время как сама зона молчания по периферии как раз и была оконтурена эпицентрами с $K \geq 10$ ($M \geq 3.3$) (рис. 3).

Ранее было установлено [Нерсесов и др., 1976; Соболев, 1993], что при подготовке сильного землетрясения в зоне сейсмического молчания отсутствуют землетрясения, максимальные магнитуды которых на 2–3 единицы меньше магнитуды ожидаемого землетрясения. Это могло свидетельствовать о том, что в зоне сейсмического затишья Култукского землетрясения зреет очаг с магнитудой 5.3–6.3 ($K \geq 13.5$ –15.4). Магнитуда Култукского землетрясения составила 6.3 ($K=15.2$), т.е. попала в этот энергетический предел.

Гидрогеохимические предвестники

Одним из важных предвестников подготовки очагов землетрясений является изменение содержаний различных газов в подземных водах. Такие иссле-

дования проводились в Узбекистане перед Ташкентским землетрясением 1966 г. Тогда, задолго до возникновения землетрясения, были начаты измерения содержаний радона, гелия и других газов в подземных водах в районе г. Ташкента. Было установлено, что перед землетрясением в воде колодцев и скважин существенно изменялись их содержания, что послужило основанием считать их краткосрочными предвестниками землетрясений [Уломо-в, Мавашев, 1967; Уломов, 1971].

В дальнейшем подобные гидрогеохимические исследования с целью прогноза землетрясений были продолжены в различных сейсмически активных регионах Земли [Гидрогеоэсейсмологические предвестники..., 1983; Гидрогеохимические предвестники..., 1985; Геохимические методы..., 1992] (рис. 4).

Предпринимались попытки гидрогеологических исследований с целью прогноза землетрясений и в Прибайкалье [Пиннекер и др., 1985]. 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 значительны (рис. 5).

Было установлено, что изменение концентраций различных газов в подземных водах происходит как перед землетрясениями, так и во время и после землетрясений. Основными причинами этого являются процессы подготовки и реализации очагов землетрясений: увеличение тектонических напря-

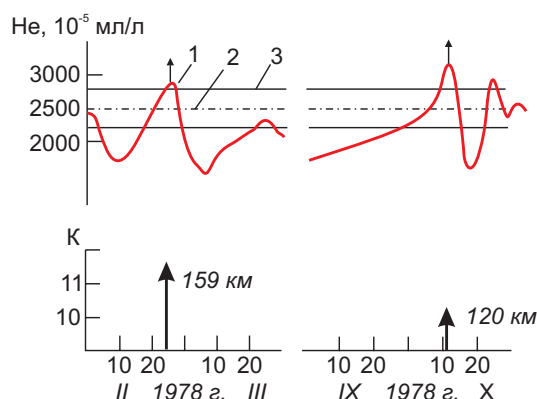


Рис. 5. Вариации концентрации гелия в рассолах из скважины 110 курорта «Ангара» (Иркутск) при землетрясениях 10–11-го энергетических классов. 1 – график изменения концентрации гелия; 2 – модальные значения показателей; 3 – границы стандартных отклонений от модальных значений ($M \pm \sigma$). Стрелками обозначены землетрясения и эпицентральные расстояния.

Fig. 5. Variations of helium concentration in brines taken from Well #110 at the Angara Health Resort (Irkutsk) in the periods of earthquakes with energy classes 10 and 11. 1 – helium concentration curve; 2 – modal values; 3 – boundaries of standard deviations from modal values ($M \pm \sigma$). Arrows show earthquakes and distances of epicentres.

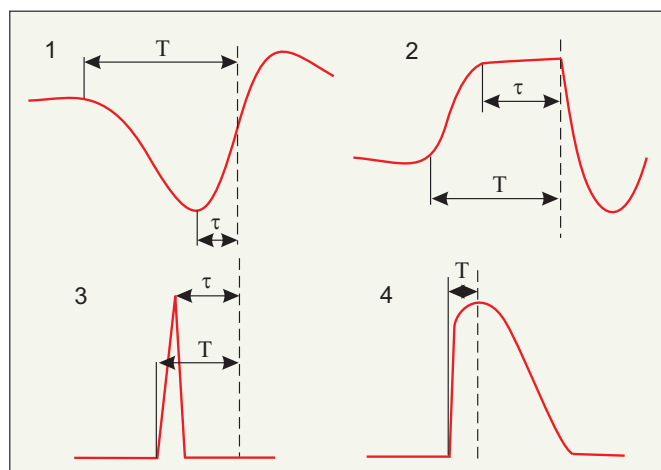


Рис. 6. Основные типы гидрогеохимических предвестниковых эффектов. По оси ординат – изменение концентраций газов в подземных водах, по оси абсцисс – время до землетрясения: 1 – бухтообразные, 2 – ступенчатые, 3 – импульсные, 4 – скачкообразные. T – время предвестника, τ – время экстремума. Пунктирной линией обозначен условный момент землетрясения.

Fig. 6. Main types of hydrogeochemical precursors. Y-axis – changes of gas concentration in underground waters. X-axis – time period before the earthquake: 1 – bay type, 2 – step type, 3 – impulse type, 4 – abrupt type. T – time of precursor, τ – time of extremum. The dotted line shows the conditional moment of the earthquake.

жений в земной коре, трещинообразование, формирование магистрального разрыва, сопровождающиеся ультразвуковыми колебаниями, которые способствуют выделению газов из горных пород и ускорению процессов их миграции [Султанходжаев, 1979].

Анализ многочисленных данных по поведению концентраций различных газов, предшествующих и сопутствующих землетрясениям, позволил построить графики их изменений и выделить основные типы гидрогеохимических предвестниковых эффектов (рис. 6) [Рябинин, Хаткевич, 2008]. Кривые на графиках описывают сложный процесс поведения концентраций газов в подземных водах перед землетрясениями.

ИССЛЕДОВАНИЯ РАСТВОРЕННОГО ГЕЛИЯ В ГЛУБИННОЙ ВОДЕ БАЙКАЛА

С целью возможного выявления краткосрочных предвестников землетрясений нами проводится мониторинг содержания растворенного гелия в глубинной воде оз. Байкал в связи с изменением сейсмического режима. Работ подобного плана в открытых глубоководных водоемах, расположенных в высокосейсмических районах, пока не проводилось.

Мировой опыт наблюдений за растворенными газами подземных вод, в частности гелием (He) и радоном (Rn), показывает, что при удачном подборе наблюдательных пунктов накануне сильных землетрясений можно зафиксировать заметные изменения их содержаний.

Наблюдения за изменением содержаний гелия в глубинных водах южной части Байкала были предопределены тем, что здесь проходит юго-восточная часть Главного Саянского разлома, а также находится узел пересечения Обручевского и Ангарского разломов, в зоне которых неоднократно происходили как слабые, так и довольно сильные землетрясения. Последнее значительное землетрясение произошло здесь в 1999 г. с $M=6.0$ и интенсивностью в эпицентре 7–8 баллов.

Отбор проб воды мы проводим ежедневно 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, отбираемых по стандартной методике, используется прибор ИНГЕМ с ценой деления $1.48 \cdot 10^{-5}$ мл/л. Предпосылки постановки такого рода работ следующие. Источником повышенного содержания гелия в подземных и поверхностных водах являются трещинно-жильные напорные воды коровых разломов. В районе пункта отбора расположен узел пересечения Обручевского и Ангарского разломов, по которым происходит разгрузка подземных вод, обогащенных гелием, в воды Байкала. Резкое изменение напряженного состояния коренного ложа Байкала на границах блоков, которое происходит при подготовке очагов землетрясений и их реализации, приводит к увеличению вертикальной скорости фильтрации подземных вод и облегчает поступление гелия из них в озерные воды.

Ежедневные данные о содержании растворенного гелия в воде показывают пульсирующий характер его поступления из недр Земли (рис. 7). В.И. Вернадский в свое время назвал этот процесс гелиевым дыханием Земли. Короткопериодный характер колебаний содержаний растворенного гелия, возможно, объясняется концепцией Г.С. Вартамяна: «Развитие восходящего дренажа флюидов зависит от пространственно-временного изменения состояния флюидовмещающей среды, темпы чего измеряются короткими интервалами: сутками, месяцами. Это обстоятельство связано с функционированием глобально развитого поля напряжений – деформаций, которое выражено в виде периодически возникающих, разрушающихся и замещающих друг друга пространственных короткоживущих структур растяжения и сжатия. Этот процесс охватывает все виды горных пород, что существенно влияет на герметичность недр» [Вартамян, 2000, с. 12].

Кроме этого, не исключено, что повышение или понижение содержаний гелия может обуславливаться сезонными изменениями направления и скорости движения придонных вод озера, несущих растворенный гелий, поступление которого из зон разломов с трещинно-жильными водами имеет конвективный характер, что обеспечивает обогащение этим газом придонных слоев озерных вод.

Для почти двухлетнего периода наблюдений нами было получено 554 значения содержаний гелия, по которым было рассчитано среднее значение содержаний гелия и их среднеквадратичное отклонение. Среднее значение ($5.96 \cdot 10^{-5}$ мл/л) оказалось несколько выше глобального фонового содержания

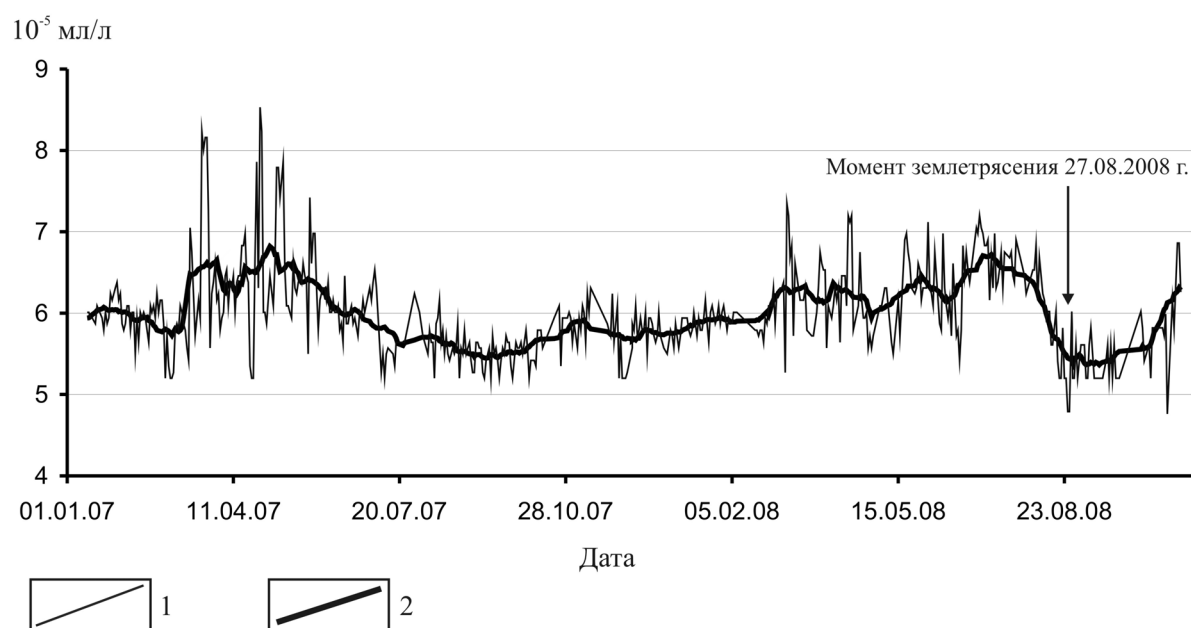


Рис. 7. График изменения содержания гелия в глубинной воде Байкала за период 2007–2008 гг. 1 – ежедневные значения содержания гелия; 2 – осредненная по двадцать дней кривая с ежесуточным сдвигом.

Fig. 7. The diagram showing changes of helium content in the deep water of Lake Baikal during 2007–2008. 1 – daily helium content; 2 – the curve showing average rates for periods of 20 days with daily shift.

гелия в пресных водах, контактирующих с атмосферой, а среднеквадратичное отклонение (σ) составило 0.64.

Перед Култукским землетрясением 27.08.2008 г. с 4 по 18 августа в содержании гелия стали заметны колебания (рис. 8). Сначала его количество увеличилось до $6.83 \cdot 10^{-5}$ мл/л, затем уменьшилось до 5.61, далее снова возросло до 6.02, а с 20.08 до 24.08 оставалось в пределах фона. Но ни разу со-

держание гелия не опускалось ниже фоновых значений. За два дня до землетрясения (25.08) содержание гелия уменьшилось ниже фона до 4.79, что соответствовало среднеквадратичному отклонению величины 2σ , и оставалось на этом уровне в течение 26.08, а утром 27.08, за два часа до землетрясения, повысилось до 5.61. Сразу же после основного толчка и спустя час после землетрясения оно повысилось до $6.02 \cdot 10^{-5}$ мл/л, после чего начался



Рис. 8. График изменений содержания гелия в глубинной воде Байкала перед Култукским землетрясением 27.08.2008 г.

Fig. 8. The diagram showing changes of helium content in the deep water of Lake Baikal before the Kultuk earthquake which occurred on 27 August 2008.

его спад и 28.08 содержание гелия снова установилось на уровне фоновых значений.

График изменения содержания гелия перед Култукским землетрясением 27.08.2008 г. (рис. 8) соответствовал графику поведения гелия перед Газлийскими землетрясениями (см. рис. 6), перед землетрясениями в Прибайкалье (см. рис. 7) и перед многими другими подземными толчками, широко описанными в литературе, и отвечал по форме бухтообразной кривой на графике гидрогеохимических предвестниковых эффектов (см. рис. 6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Произошедшее 27 августа 2008 г. сильное землетрясение на юге Байкала было вполне ожидаемым как по силе, так и по расположению его эпицентра. Неожиданным оказалось время его возникновения. По сейсмологическим данным было установлено наличие в этой части Байкальского рифта зоны сейсмического молчания, которая свидетельствовала о подготовке здесь очага землетрясения с $M=5.3-6.3$, что в какой-то мере могло служить среднесрочным предвестником землетрясения. К этой зоне и был приурочен эпицентр землетрясения.

Проведенные двухлетние исследования содержания растворенного гелия в глубинной воде Байкала позволили установить существенные колебания его концентраций накануне землетрясения, что можно рассматривать в качестве краткосрочного (за несколько дней до землетрясения) предвестника. Полученные результаты ни в коем случае нельзя сбрасывать со счетов, и поэтому необходимо продолжать исследования концентрации растворенного гелия в глубинной воде Байкала.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке программы Президиума РАН № 16.8 и ФЦП (гос. контракт 02.740.11.0446).

ЛИТЕРАТУРА

- Барсуков В.Л., Беляев А.А., Серебренников В.С. Вестники беды (о поиске средств геохимического прогноза землетрясений) // Отв. ред. Г.И. Войтов. – М.: Наука, 1989. – 136 с.
- Вартанян Г.С. Флюидосфера, геодинамическая фильтрация и формирование трещинной проницаемости в ходе погружения осадочных толщ // Геология, методы поисков, разведки и оценки месторождений топливно-энергетического сырья. – М.: Геоинформмарк, 2000. № 6. – 33 с.
- Геохимические методы прогноза землетрясений / Отв. ред. В.Л. Барсуков. – М.: Наука, 1992. – 213 с.

- Гидрогеосейсмологические предвестники землетрясений / Под ред. Г.А. Мавлянова. – Ташкент: Изд-во «ФАН», 1983. – 136 с.
- Гидрогеохимические предвестники землетрясений / Отв. ред. Г.М. Варшал. – М.: Наука, 1985. – 288 с.
- Зубков С.И. О зависимости времени возникновения и радиуса зоны проявления электротеллурического предвестника от энергии землетрясения // Физика Земли. – 1983. – № 4. – С. 101–106.
- Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСП–97. Масштаб 1:8000000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. – М.: ОИФЗ РАН, 1999. – 57 с.
- Нерсесов И.Л., Пономарев В.С., Тейтельбаум Ю.М. Эффект сейсмического затишья при больших землетрясениях // Исследования по физике землетрясений. – М.: Наука, 1976. – С. 146–169.
- Пиннекер Е.В., Ясько В.Г., Шкандрий Б.О. Результаты изучения гидрогеологических предвестников землетрясений в Байкальской рифтовой области // Гидрогеохимические предвестники землетрясений / Отв. ред. Г.М. Варшал. – М.: Наука, 1985. – С. 259–265.
- Рябинин Г.В., Хаткевич Ю.М. 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. Т. 2 / Отв. ред. В.Н. Чебров, В.А. Салтыков. – Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2008. – С. 49–53.
- Семенов Р.М. Исследования по поиску средне-краткосрочных предвестников землетрясений // Проблемы современной сейсмогеологии и геодинамики Центральной и Восточной Азии: Материалы Всероссийского совещания с международным участием. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2007. Т. 2. – С. 135–137.
- Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. – М.: Наука, 1993. – 313 с.
- Соболев Г.А. Сейсмические свойства внутренней и внешней зоны очага землетрясения // Вулканология и сейсмология. – 2003. – № 2. – С. 3–12.
- Соболев Г.А., Пономарев А.В., Кольцов А.В. Возбуждение колебаний в модели сейсмического источника // Физика Земли. – 1995. – № 12. – С. 72–78.
- Султанходжаев А.Н. Гидрогеосейсмологические предвестники землетрясений // Узбекский геологический журнал. – 1979. – № 2. – С. 3–13.
- Ташкентское землетрясение 26 апреля 1966 г. – Ташкент. Изд-во «ФАН», 1971. – 672 с.
- Уломов В.И. Внимание! Землетрясение! – Ташкент: Изд-во «Узбекистан», 1971. – 160 с.
- Уломов В.И., Мавашев Б.З. О предвестнике сильного тектонического землетрясения // Доклады АН СССР. – 1967. – Т. 176, № 2. – С. 319–321.
- Шерман С.И. Тектонофизическая модель сейсмической зоны: опыт разработки на примере Байкальской рифтовой системы // Физика Земли. – 2009. – № 11. – С. 8–21.
- Шерман С.И., Демьянович В.М., Лысак С.В. Новые данные о современной деструкции литосферы в Байкальской рифтовой зоне // Доклады АН. – 2002. – Т. 387, № 4. – С. 533–536.



Семенов Рудольф Михайлович, докт. геол.-мин. наук, профессор, в.н.с.
Институт земной коры СО РАН
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия
Тел. 8(3952)425404; e-mail: semenov@crust.irk.ru

Semenov, Rudolf M., Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Leading Researcher
Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of RAS
664033, Irkutsk, Lermontov street, 128, Russia
Tel. 8(3952)425404; e-mail: semenov@crust.irk.ru

