

СИЛЬНОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ НА БАЙКАЛЕ 27 АВГУСТА 2008 г. И ЕГО ПРЕДВЕСТНИКИ

Р.М. Семенов, О.П. Смекалин

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

Сильное землетрясение на Байкале 27 августа 2008 г. вызвало большой резонанс не только у ученых-сейсмологов, но и у широких масс населения Прибайкалья. То, что очаг землетрясения располагался в пределах высокосейсмичной Байкальской рифтовой зоны, было вполне ожидаемым, а вот время его возникновения, как всегда, оказалось неожиданным. Рассмотрены вопросы геологических условий возникновения землетрясения, его макросейсмические последствия, а также приведены некоторые данные, которые являлись предвестниками подземного толчка. В частности, впервые в мировой практике перед землетрясением были зафиксированы изменения содержания растворенного гелия в глубинной воде Байкала, исследования которых до настоящего времени в крупных открытых глубоководных бассейнах, расположенных в сейсмоактивных районах, не проводились нигде в мире.

Землетрясение, рифтовая зона, гелий, предвестник землетрясения, Прибайкалье.

THE LARGE EARTHQUAKE OF AUGUST 27, 2008 IN LAKE BAIKAL AND ITS PRECURSORS

R.M. Semenov and O.P. Smekalin

The large earthquake that shook the southern part of Lake Baikal on August 27, 2008 has received much scientific and public interest. The occurrence of the event in the high-seismicity Baikal rift was not surprising, but its origin time was, as usual, unexpected. We discuss the geological conditions of the earthquake, its macroseismic effects, and some data interpreted as its precursors. A special focus is made on preseismic changes in dissolved helium in Lake Baikal. Studying helium patterns in a deep freshwater lake in an active seismic area is a pioneering experience that appears to have no match in the world earthquake prediction practice.

Earthquake, rift zone, helium, earthquake precursor, Baikal region.

ВВЕДЕНИЕ

27 августа 2008 г. в 10 ч 35 мин местного времени (в 01 ч 35 мин по Гринвичу) на юге Байкала произошло сильное землетрясение. Магнитуда землетрясения составляла 6.2 ($K = 15.2$), глубина очага 16 км, интенсивность сейсмических сотрясений в эпицентре достигала 8 баллов. Землетрясение ощущалось на большой территории Сибири от г. Красноярска на западе до г. Чита на востоке и от г. Северобайкальск на севере до Улан-Батора в Монголии на юге. Максимальные сейсмические сотрясения отмечались в пос. Култук, расположенном на побережье Байкала, поэтому землетрясение получило название Култукское.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Очаг землетрясения располагался в пределах Байкальской рифтовой зоны, характеризующейся высокой неотектонической и современной геодинамической активностью и, как следствие этого, высокой сейсмичностью. Эпицентр был приурочен к юго-восточной оконечности Главного Саянского разлома, сейсмический потенциал которого, по палеосейсмогеологическим данным, оценивается как $M = 8.0$ [Чипизубов, Смекалин, 1999]. В этой части Байкала и ранее неоднократно отмечались сильные землетрясения с магнитудами до 7. На карте общего сейсмического районирования (ОСР-97) территории России [Комплект..., 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

Среди большого числа предвестников землетрясений существуют сейсмологические, геохимические, биологические и др. [Рикитак, 1979; Моги, 1988; Сидорин, 1992; Соболев, 1993; Завьялов, 2006]. Сейсмологические основаны на изучении изменений сейсмического режима в области подготовки очага

землетрясения [Нерсесов и др., 1976; Кнауф и др., 1987; Соболев, 1987, 1999, 2003; Соболев, Тюпки, 1996; Тихонов, 1996; Ромашкова, Кособоков, 2001; Соболев, Шумилина, 2002], геохимические — на изменении содержаний различных газов в подземных водах [Уломов, Мавашев, 1967; Уломов, 1971; Барсуков и др., 1989, 1992], а биологические — на поведении различных животных, птиц, рыб, рептилий, ощущениях людей и т.п. [Цзян, 1978; Литинецкий, 1980, 1988; Никонов, 1981]. На сегодняшний день имеется несколько примеров предсказания землетрясений, основанных на исследованиях именно этих предвестников [Цзян, 1978; Wiss, Habermann, 1987].

Сейсмологические. 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, 2003].

Первые результаты по среднесрочному прогнозу землетрясений в Прибайкалье, основанные на исследованиях динамики сейсмического процесса в областях подготовки землетрясений, были опубликованы в статье [Боровик и др., 1971]. В ней авторы на основании изучения развития сейсмичности установили, что перед рядом сильных землетрясений в областях подготовки их очагов в течение определенного времени отмечались сейсмические затишья. Эпицентры основных толчков, как правило, располагались на окраинах областей подготовки, а площади, занятые афтершоками, находились внутри областей подготовки и были меньше их. Уже те первые данные позволяли в первом приближении прогнозировать место возникновения землетрясения.

В конце 80-х годов прошлого столетия с целью выяснения динамики сейсмического процесса перед сильными землетрясениями было проведено детальное изучение сейсмичности в Кодаро-Удоканском районе [Гилева, 1989]. Для этого сравнивались карты эпицентров за различные промежутки времени. Было установлено, что перед некоторыми землетрясениями с $K = 12$ отмечались сейсмические затишья.

Ретроспективное изучение изменения сейсмического режима в северо-восточной части Байкальской рифтовой зоны перед землетрясениями с $M = 5.5—6.0$ было проведено одним из авторов данной статьи [Семенов, 2007]. В результате этих исследований подтвердилось возникновение и существование в течение определенного времени перед сильными землетрясениями в их эпицентральных областях зон сейсмического затишья. Площади таких зон составляли сотни квадратных километров, а длительность их существования — от года до полутора лет.

В районе очага Южно-Байкальского землетрясения 1999 г., эпицентр которого располагался в 50 км восточнее Култукского 2008 г., в течение 50 лет до его возникновения фиксировались лишь редкие подземные толчки не выше 10-го энергетического класса, а сильных землетрясений не было в течение двух с половиной столетий [Ружич и др., 2002].

Эпицентральная область Култукского землетрясения также характеризовалась зоной сейсмического затишья площадью около 600 км², в ее пределах 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. 1). Ранее было установлено [Нерсесов и др., 1976; Соболев, Завьялов, 1984], что при подготовке сильного землетрясения в зоне сейсмического молчания отсутствуют землетрясения, максимальные магнитуды которых на 2—3 единицы меньше магнитуды ожидаемого. Это могло свидетельствовать о том, что в зоне сейсмического затишья Култукского землетрясения зреет очаг с магнитудой не ниже 5.3—6.3 ($K \geq 13.5—15.4$). В результате его магнитуда составила 6.2 ($K = 15.2$), т.е. как раз и попала в этот энергетический предел [Семенов и др., 2009а,б].

Геохимические. Еще одним из предвестников подготовки очагов землетрясений является изменение содержаний различных газов в подземных водах. Такие исследования проводились в Узбекистане перед Ташкентским землетрясением 1966 г. Тогда задолго до возникновения землетрясения были начаты измерения содержаний радона в подземных водах в районе г. Ташкент. Было установлено, что перед землетрясением в воде колодцев и скважин существенно возросло содержание радона [Уломов, Мавашев, 1967; Уломов, 1971].

Нами с целью возможного выявления краткосрочных предвестников землетрясений проводятся мониторинговые наблюдения за содержанием гелия в глубинной воде оз. Байкал в связи с изменением сейсмического режима. Работ подобного плана в открытых глубоководных водоемах, расположенных в сейсмически-активных районах, таких как Байкал, насколько нам известно, пока не проводилось. В середине 90-х годов прошлого столетия перед Южно-Байкальским землетрясением 1999 г. в истоке р. Ангара были проведены пятилетние мониторинговые наблюдения за содержанием ртути в поверхностных водах Байкала. Несмотря на то, что содержание ртути в байкальской воде ничтожно мало, а отбор проб воды производился один раз в десять дней на расстоянии 25 км от эпицентра, тем не менее было зафик-

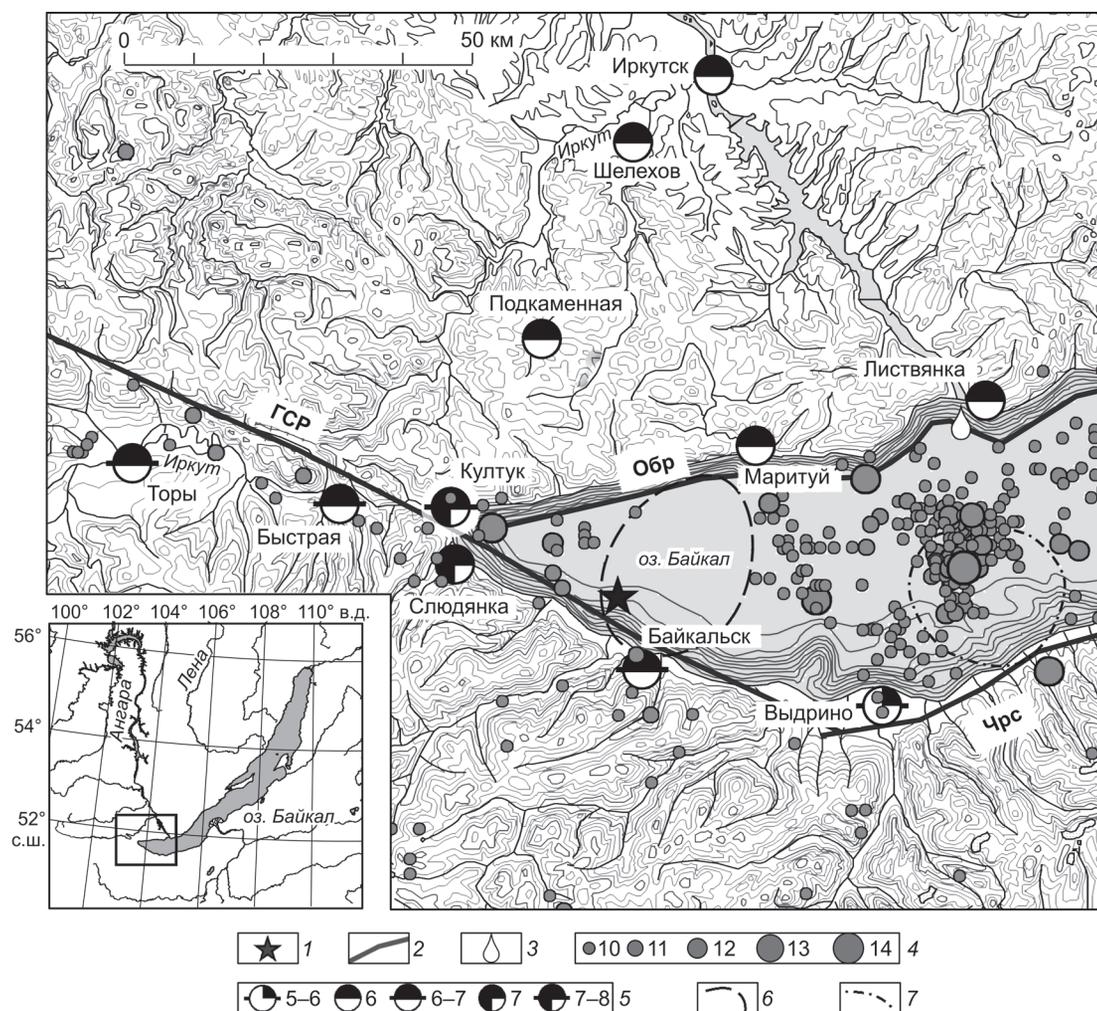


Рис. 1. Местоположение эпицентра Култукского землетрясения 27.08.2008 г.

1 — эпицентр землетрясения; 2 — активные разломы: ГСР — Главный Саянский, Чрс — Черского, Обр — Обручева; 3 — пункт отбора проб глубинной воды для изучения содержаний в ней растворенного гелия; 4 — эпицентры землетрясений и их энергетический класс; 5 — населенные пункты и интенсивность сейсмических сотрясений в них по шкале MSK-64; 6 — зона сейсмического затишья перед Култукским землетрясением; 7 — то же, перед Южно-Байкальским 25.02.1999 г. землетрясением. Зона заполнена эпицентрами афтершоков Южно-Байкальского землетрясения и последующих подземных толчков. На врезке: квадрат — район исследований.

сировано повышение содержания ртути перед сильным Южно-Байкальским землетрясением [Коваль и др., 2003].

Мировой опыт наблюдений за растворенными газами подземных вод, в частности радона (Rn) и гелия (He), показывает, что при удачном подборе наблюдательных пунктов накануне сильных землетрясений можно зафиксировать заметные изменения их содержаний (рис. 2).

Причем эти изменения химических элементов, а также растворенных газов перед землетрясениями обнаруживают различные колебания (рис. 3).

Наблюдения за изменением содержаний гелия в глубинных водах Байкала в южной его части были предопределены тем, что здесь проходит юго-восточная часть Главного Саянского разлома, где он пересекается с Обручевским и подходит к разлому Черского, с которыми 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.

Первый этап исследований по содержанию растворенного гелия в глубинной воде Байкала мы проводили с апреля 2004 г. по сентябрь 2005 г. Пробы воды отбирались по стандартной методике 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 использовался прибор ИНГЕМ-1 (индикатор гелия магниторазрядный).

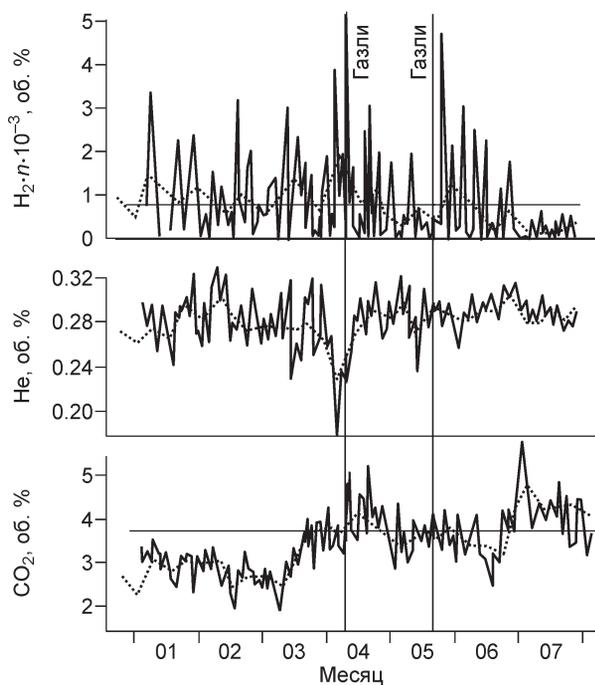


Рис. 2. Изменение газового состава подземных вод Ташкентского геодинамического полигона на период Газлийских землетрясений 1976 г. [Гидрогеосейсмологические предвестники..., 1983].

Ежедневные данные о содержании растворенного гелия в воде показывают его пульсирующий характер поступления из недр Земли. В.И. Вернадский в свое время назвал этот процесс гелиевым дыханием Земли [Гидрогеосейсмологические предвестники..., 1983]. Короткопериодный характер колебаний содержания растворенного гелия, возможно, объясняется концепцией Г.С. Вартапяна [2000, с. 12]: «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».

Хронологический анализ среднедекадных изменений содержания растворенного гелия за этот период показал, что в двух случаях отмечались его повышенные содержания до $(7.7—8) \cdot 10^{-5}$ мл/л против фонового $(5.2) \cdot 10^{-5}$ мл/л (рис. 4, а). За этот период неоднократно фиксировались сейсмические толчки 9—10-го энергетического класса с эпицентрами, удаленными на расстояния от 20 до 130 км от пункта отбора проб. Увеличение содержания гелия мы пока не связывали с подготовкой землетрясений и с их реализацией, так как, во-первых, их очаги располагались на значительных расстояниях от пункта отбора проб, а, во-вторых, сами сейсмические события были незначительными. Не исключено, что повышение содержания гелия в первом случае (апрель 2004 г.) было связано с 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. А вот во втором случае (март 2005 г.) повышение содержания гелия наряду с сезонным обогащением вполне могло быть обусловлено и землетрясением 21.03.2005 г. с $K = 12.2$, эпицентр которого располагался в 40 км к юго-востоку от водозабора, т.е. изменение содержания гелия носило интегральный характер.

Второй этап исследований начался в январе 2007 г. и продолжался по ноябрь 2008 г. На график изменения содержаний гелия выносились ежедневные их значения (за исключением некоторых дней, в которые по тем или иным причинам отсутствовали данные) (см. рис. 4, б). Было отмечено, что за эти два года периоды с февраля по апрель характеризовались резкими скачками как в сторону увеличения, так и уменьшения содержаний гелия, хотя значительных сейсмических событий в южной части Байкала за этот период не происходило. Эти изменения, по-видимому, опять-таки были вызваны сезонными причинами.

Для этого почти двухлетнего периода было получено 554 значения содержаний гелия, для которых были рассчитаны среднее значение содержаний гелия и их среднеквадратичное отклонение.

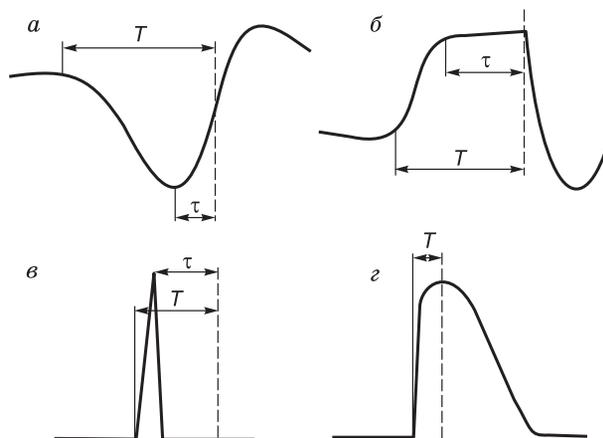


Рис. 3. Основные типы гидрогеохимических предвестниковых эффектов:

а — бухтообразные, б — ступенчатые, в — импульсные, г — скачкообразные. T — время предвестника, τ — время экстремума. Штриховой линией обозначен условный момент землетрясения [Рябинин, Хаткевич, 2008].

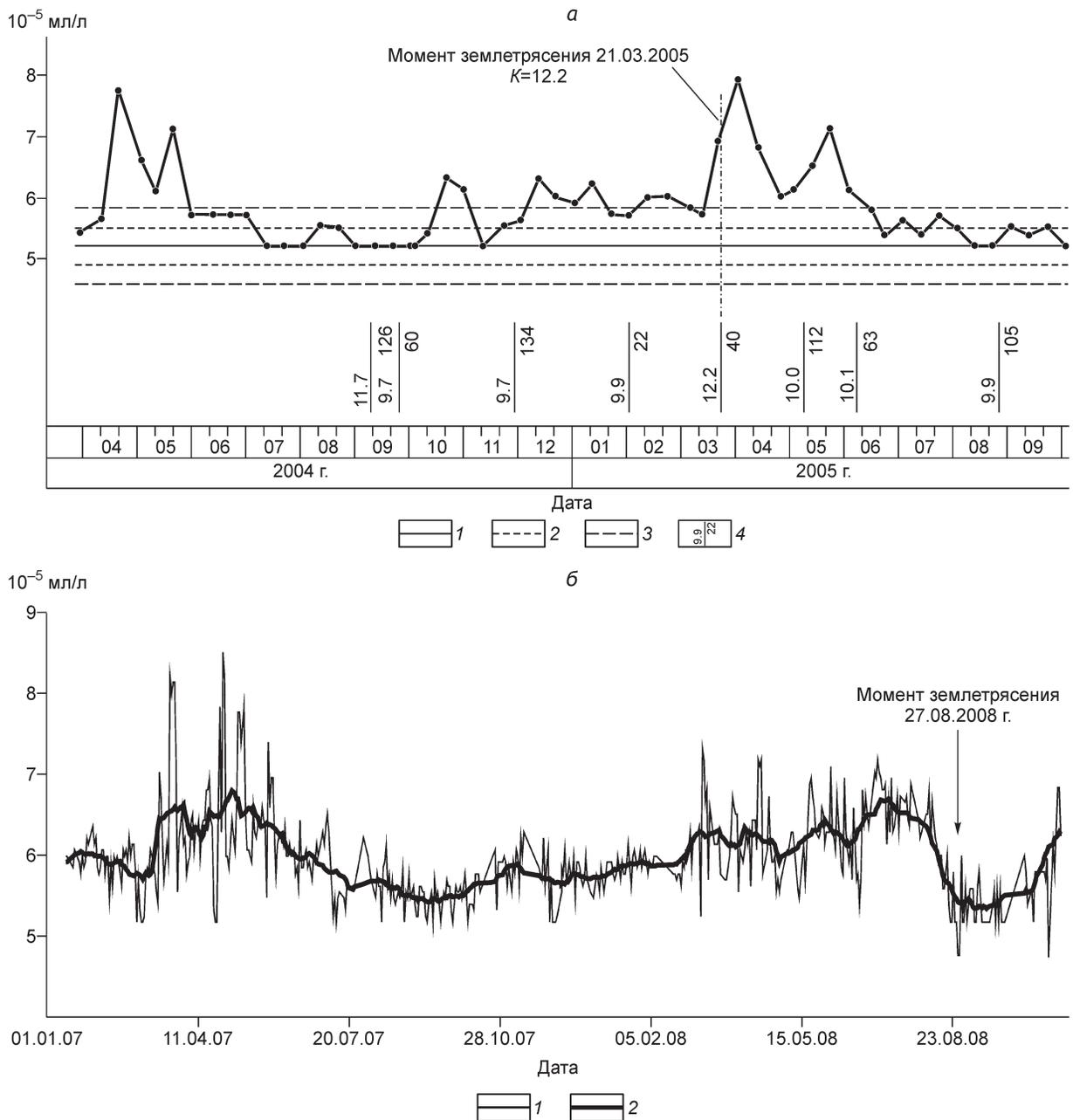


Рис. 4. График изменения содержания гелия в глубинной воде Байкала за 2004—2005 гг. (а), за 2007—2008 гг. (б).

а — 1 — фоновое содержание гелия в пресных открытых водоемах мира; 2, 3 — приборная ошибка измерений содержаний гелия: 2 — $\pm 5\%$, 3 — $\pm 10\%$; 4 — слева — энергетический класс землетрясения, справа — расстояние до эпицентра (км); б — 1 — ежедневные значения содержания гелия; 2 — осредненная (по двадцать дней) кривая с ежесуточным сдвигом.

Среднее значение ($5.96 \cdot 10^{-5}$ мл/л) оказалось несколько выше глобального фонового содержания гелия в пресных водах, контактирующих с атмосферой, а среднеквадратичное отклонение (σ) составило 0.64.

Перед Култуковским землетрясением 27.08.2008 г. в содержаниях гелия отмечалось следующее. С 4 по 18 августа в содержании гелия стали заметны колебания (см. рис. 4, б). Сначала его количество увеличилось до $6.83 \cdot 10^{-5}$ мл/л, затем уменьшилось до $5.61 \cdot 10^{-5}$, далее снова возросло до $6.02 \cdot 10^{-5}$ мл/л, а с 20 до 24 августа — оставалось в пределах фона. Но ни разу содержание гелия не опускалось ниже фоновых значений. За два дня до землетрясения (25.08.2008 г.) содержание гелия уменьшилось ниже фона до $4.79 \cdot 10^{-5}$ мл/л, что соответствовало среднеквадратичному отклонению величины 2σ , и оставалось на этом уровне в течение 26 августа, а на следующее утро за два часа до землетрясения повысилось до

$5.61 \cdot 10^{-5}$ мл/л. Сразу же после основного толчка и спустя час после землетрясения оно повысилось до $6.02 \cdot 10^{-5}$ мл/л. После чего начался его спад и 28 августа содержания гелия снова установились на уровне фоновых значений.

Графики изменения содержания гелия перед землетрясением 21.03.2005 г. и Култукским землетрясением 27.08.2008 г. по форме соответствовали графику изменений гелия перед Газлийскими землетрясениями (см. рис. 2) и отвечало по форме бухтообразной кривой на графике гидрогеохимических предвестников землетрясений (см. рис. 3).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Исследование сейсмического режима накануне сильного землетрясения позволило выявить зону сейсмического молчания площадью 600 км^2 , в которой и расположился эпицентр будущего землетрясения. Время существования зоны затишья косвенно могло служить в качестве среднесрочного предвестника землетрясения.

Полученные данные по изменениям содержаний гелия в глубинной воде Байкала можно рассматривать в качестве краткосрочного предвестника землетрясений [Семенов и др., 2009а,б]. Однако, по мнению академика В.Л. Барсукова с коллегами [1989, с. 66], «как бы ни был хорош результат прогноза, проверка его значимости должна быть основана на эксперименте, т.е. нужно доказать, что успех был не случайным, что выявленные связи основаны на устойчивых природных закономерностях».

Такие изменения в содержании гелия, на наш взгляд, по-видимому, связаны с моделью подготовки и реализации очага 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 от долей герца до $10\text{—}30 \text{ кГц}$. 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]. 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 массы флюидов вместе с растворенными в них газами. Вероятно, именно в это время происходило резкое уменьшение содержаний гелия в глубинной воде Байкала. При дальнейшем повышении напряжений мелкие трещины группируются в магистральный разрыв, с которым связано возникновение землетрясения, резкое выделение растворенного гелия из пор и трещин и повышение его содержания в глубинной воде Байкала. После землетрясения происходит уплотнение пород, закрытие трещин и, следовательно, восстанавливается прежний режим выхода гелия, вследствие чего его содержания приходят к своим фоновым значениям [Карус и др., 1974]. По мнению Э.М. Прасолова [1990], близповерхностные флюиды дают о себе знать за день до землетрясения. Однако восстановленный после основного толчка прежний режим выхода гелия вновь нарушается развитием афтершокового процесса и новым появлением систем трещин. Но выделение гелия уже сопровождает не процесс подготовки землетрясения и, следовательно, формирования его предвестника, а следующую стадию развития очаговой области.

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Произошедшее в конце августа 2008 г. сильное землетрясение на юге Байкала в очередной раз обозначило сложности в их предсказании. Если место и сила подземных толчков с определенной долей вероятности в настоящее время прогнозируются, то время возникновения землетрясений все еще остается тайной за семью печатями. Тем ценнее выглядит полученный материал по представленным в данной статье первым, пусть еще не совсем совершенным, предвестникам землетрясения. Авторы считают целесообразным продолжать начатые исследования по поиску среднесрочных предвестников землетрясений с применением более совершенных приборов и с расширением пунктов наблюдений.

Дальнейшие исследования содержаний гелия в глубинной воде Байкала, возможно, позволят более обоснованно подойти к определению времени возникновения землетрясения, т.е. к выделению его краткосрочного предвестника.

Работа выполнена при частичной 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). М., Наука, 1989, 136 с.

Барсуков В.Л., Беляев А.А., Бакалдин Ю.А., Игумнов В.А., Ибрагимов Т.Л., Серебренников В.С., Султанходжаев А.Н. Геохимические методы прогноза землетрясений. М., Наука, 1992, 213 с.

Боровик Н.С., Мишарина Л.А., Тресков А.А. О возможности будущих сильных землетрясений в Прибайкалье // Изв. АН СССР. Физика Земли, 1971, № 1, с. 21—26.

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.

Гидрогеосейсмологические предвестники землетрясений / Ред. Г.А. Мавлянов. Ташкент, Изд-во «ФАН» УзССР, 1983, 136 с.

Гилева Н.А. Сейсмичность Кодаро-Удоканского района Байкальской рифтовой зоны // Сейсмология и сейсмостойкое строительство на Дальнем Востоке. Тезисы докладов Всесоюзной конференции. Владивосток, Изд-во ДВГИ ДВО АН СССР, 1989, с. 70.

Горбушина Л.В., Тыминский В.Г., Спиридонов А.И. К вопросу о механизме образования радиогидрогеологических аномалий в сейсмоактивном районе и их значение при прогнозировании землетрясений // Советская геология, 1972, № 1, с. 153—156.

Грацинский В.Г., Горбушина Л.В., Тыминский В.Г. О выделении радиоактивных газов из образцов горных пород под действием ультразвука // Физика Земли, 1967, № 10, с. 91—94.

Завьялов А.Д. Среднесрочный прогноз землетрясений: основы, методика, реализация. М., Наука, 2006, 254 с.

Карус Е.В., Кузнецов О.Л., Симкин Э.М., Тыминский В.Г., Уломов В.И., Файзуллин И.С. К вопросу о прогнозировании неглубоких землетрясений // Новые данные по сейсмологии и сейсмогеологии Узбекистана / Ред. В.И. Уломов. Ташкент, Изд-во «ФАН» УзССР, 1974, с. 292—302.

Кнауф В.И., Юдахин Ф.Н., Ильясов Б.И. Изучение физических процессов в зонах возникновения землетрясений Тянь-Шаня и выявление наиболее информативных предвестников землетрясений // Физические основы прогнозирования разрушения горных пород при землетрясениях / Под ред. М.А. Садовского, Г.А. Соболева. М., Наука, 1987, с. 82—96.

Коваль П.В., Удодов Ю.Н., Андрулайтис Л.Д., Саньков В.А., Гапон А.Е. Ртуть в воде источника р. Ангары: пятилетний тренд концентрации и возможные причины его вариаций // Докл. РАН, 2003, т. 389, № 2, с. 235—238.

Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации. ОСР-97. М-б 1:8 000 000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах / Под ред. В.Н. Страхова, В.И. Уломова. М., ОИФЗ РАН, 1999, 57 с.

Литинецкий И. Изобретатель — природа: чудо-синоптики, живые сейсмографы (о некоторых аспектах бионики). М., Знание, 1980, 152 с.

Литинецкий И.Б. Предвестники подземных бурь. М., Просвещение, 1988, 190 с.

Моги К. Предсказание землетрясений. М., Мир, 1988, 195 с.

Нерсесов И.Л., Пономарев В.С., Тейтельбаум Ю.М. Эффект сейсмического затишья при больших землетрясениях // Исследования по физике землетрясений / Ред. Ю.В. Ризниченко. М., Наука, 1976, с. 146—169.

Никонов А.А. Предсказатели подземных гроз // Знание — сила, 1981, с. 16—18.

Прасолов Э.М. Изотопная геохимия и происхождение природных газов. Л., Недра, 1990, 283 с.

Рикитак Т. Предсказание землетрясений. М., Мир, 1979, 388 с.

Ромашкова А.Л., Кособоков В.Г. Динамика сейсмической активности до и после сильнейших землетрясений мира, 1985—2000 // Проблемы динамики литосферы и сейсмичности. Вычислительная сейсмология. Вып. 32. М., ГЕОС, 2001, с. 162—189.

Ружич В.В., Семенов Р.М., Мельникова В.И., Смекалин О.П., Алакшин А.М., Чипизубов А.В., Аржанников С.Г., Емельянова И.А., Демьянович М.Г., Радзиминович Н.А. Геодинамическая обстановка в районе Южно-Байкальского землетрясения 25.02.1999 года и его характеристика // Геология и геофизика, 2002, т. 43 (5), с. 470—483.

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. Труды Региональной научно-технической конференции. Т. 2 / Под ред. В.Н. Чеброва, В.А. Салтыкова. Петропавловск-Камчатский, ГС РАН, 2008, с. 49—53.

Семенов Р.М. Исследования по поиску среднекраткосрочных предвестников землетрясений // Материалы Всероссийского совещания с международным участием. Проблемы современной сейсмогеологии и геодинамики Центральной и Восточной Азии. № 2 / Ред. Е.В. Складов. Иркутск, ИЗК СО РАН, 2007, с. 135—137.

Семенов Р.М., Имаев В.С., Смекалин О.П., Чипизубов А.В., Оргильянов А.И. Сильное землетрясение на Байкале 27 августа 2008 г. (геологические условия его возникновения, предвестники и макросейсмические последствия) // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009а, № 1, с. 51—56.

Семенов Р.М., Смекалин О.П., Оргильянов А.И. Байкал предупреждал о приближении землетрясения // Природа, 2009б, № 7, с. 64—67.

Сидорин А.Я. Предвестники землетрясений. М., Наука, 1992, 191 с.

Соболев Г.А. Исследование разрушения барьеров применительно к проблеме прогноза землетрясений // Физические основы прогнозирования разрушения горных пород при землетрясениях / Под ред. М.А. Садовского, Г.А. Соболева. М., Наука, 1987, с. 58—67.

Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М., Наука, 1993, 313 с.

Соболев Г.А. Стадии подготовки сильных камчатских землетрясений // Вулканология и сейсмология, 1999, № 4/5, с. 63—72.

Соболев Г.А. Сейсмические свойства внутренней и внешней зоны очага землетрясения // Вулканология и сейсмология, 2003, № 2, с. 3—12.

Соболев Г.А., Завьялов А.Д. Локализация сейсмичности перед Усть-Камчатским землетрясением 15 декабря 1971 г. // Изв. АН СССР, Физика Земли, 1984, № 4, с. 17—24.

Соболев Г.А., Тюпкин Ю.С. Аномалии в режиме слабой сейсмичности перед сильными землетрясениями Камчатки // Вулканология и сейсмология, 1996, № 4, с. 64—74.

Соболев Г.А., Шумилина П.С. Динамика некоторых потенциальных очагов Камчатки // Катастрофические процессы и их влияние на природную среду. Т. 2. Сейсмичность. М., ОИФЗ РАН, 2002, с. 429—439.

Тихонов И.Н. О долгосрочном прогнозе сильных землетрясений на юге Сахалина // ФССН и прогноза землетрясений, 1996, т. 3, № 4, с. 3—12.

Уломов В.И. Внимание! Землетрясение! Ташкент, Изд-во «Узбекистан», 1971, 160 с.

Уломов В.И., Мавашев Б.З. О предвестнике сильного тектонического землетрясения // Докл. АН СССР, 1967, т. 176, № 2, с. 319—321.

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. О геохимических эффектах сопутствующих тектоническим землетрясениям // Новые данные по сейсмологии и сейсмогеологии Узбекистана / Ред. В.И. Уломов. Ташкент, Изд-во «ФАН» УзССР, 1974, с. 303—330.

Цзян Ф. Хайченское землетрясение 4 февраля 1975 г. Пекин, Изд-во «Землетрясение», 1978, 90 с. (Перевод с китайского).

Чипизубов А.В., Смекалин О.П. Палеосейсмодислокации и связанные с ними палеоземлетрясения по зоне Главного Саянского разлома // Геология и геофизика, 1999, т. 40 (6), с. 936—947.

Wiss 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, v. 2, p. 526—536.