

## ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 6 ЯНВАРЯ 2006 г. ( $M_w = 4.5$ ): РЕДКИЙ СЛУЧАЙ ПРОЯВЛЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В ВОСТОЧНОМ ЗАБАЙКАЛЬЕ

Я.Б. Радзиминович, В.И. Мельникова, А.И. Середкина, Н.А. Гилева\*,  
Н.А. Радзиминович, А.А. Папкина\*

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

\* *Байкальский филиал Геофизической службы СО РАН,  
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия*

Рассматривается сейсмичность Восточного Забайкалья и приводятся результаты изучения Бале́йского землетрясения 6 января 2006 г. ( $M_w = 4.5$ ), ощущавшегося на значительной территории. Уточнены очаговые параметры землетрясения (механизм очага, сейсмический момент и моментная магнитуда), установлена приуроченность очага землетрясения к зоне Бале́й-Дарасунского разлома, имеющего признаки кайнозойской активизации. Впервые для района исследований получена детальная макросейсмическая информация в эпицентральной зоне. Представленные в статье результаты восполняют недостаток сейсмологических данных по территории Восточного Забайкалья и могут быть востребованы при осуществлении работ по оценке сейсмической опасности и сейсмическому районированию.

*Землетрясение, разлом, механизм очага, макросейсмические данные, Восточное Забайкалье.*

## THE BALEI EARTHQUAKE OF 6 JANUARY 2006 ( $M_w = 4.5$ ): A RARE CASE OF SEISMIC ACTIVITY IN EASTERN TRANSBAIKALIA

Ya.B. Radziminovich, V.I. Mel'nikova, A.I. Seredkina, N.A. Gileva,  
N.A. Radziminovich, and A.A. Papkina

The Balei earthquake of 6 January 2006 ( $M_w = 4.5$ ) was felt over a large part of Transbaikalia. Judging by its updated source parameters (earthquake mechanism, seismic moment, and moment magnitude), the event was generated by the Balei–Darasun fault reactivated in the Cenozoic. Exhaustive macroseismic evidence has been collected for the first time from the study area. The reported results fill up the gap in the seismological knowledge of eastern Transbaikalia and can be used for seismic risk mapping and earthquake prediction.

*Earthquake, fault, source mechanism, macroseismic data, eastern Transbaikalia*

### ВВЕДЕНИЕ

Сейсмичность юго-восточной части Забайкалья (в пределах границ Российской Федерации) на сегодняшний день остается малоизученной. Для этой территории ощущается недостаток данных как о палео- и исторических землетрясениях, так и о сейсмических событиях, произошедших в течение полувекового периода инструментальных наблюдений. Существующее положение обусловлено, во-первых, редкостью сильных сейсмических событий в этом районе и, во-вторых, ограниченными возможностями регистрации слабых землетрясений.

Основным объектом сейсмологических исследований в Восточной Сибири традиционно является Байкальская рифтовая зона, соответственно, абсолютное большинство сейсмических станций региональной сети сосредоточено в ее пределах. Территория Забайкалья, тем более его восточная часть, характеризующаяся намного более низкой сейсмической активностью по сравнению с Байкальским рифтом, в сейсмологическом отношении до относительно недавнего времени вызывала значительно меньший интерес. В настоящий момент непосредственно в пределах района исследований действуют лишь три станции: Чита, Хапчеранга и Турик. Естественно, что для получения надежных фундаментальных данных о сейсмичности и строении земной коры района этого недостаточно. Вряд ли можно считать исчерпывающей и схему сейсмического районирования этой части Восточной Сибири [Комплект..., 1999], причиной чему является дефицит фактической информации о сильных землетрясениях. Частично недостаток наших знаний может быть восполнен за счет сведений об исторических землетрясениях, но в то же время крайне необходимы детальные данные о значительных сейсмических событиях, полученные методами инструментальной сейсмологии. В настоящей статье рассматривается сейсмичность Восточного Забайкалья с акцентом на значимое для этой территории сейсмическое событие, произошедшее 6 января 2006 г.

## КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О СЕЙСМИЧНОСТИ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ В СВЕТЕ ИСТОРИЧЕСКИХ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Известные данные о землетрясениях исторического прошлого в пределах района исследований весьма ограничены. Это связано со сравнительно низкой заселенностью территории вплоть до XX в. и удаленностью многих населенных пунктов Забайкалья от административных центров. Информация об ощутимых землетрясениях если и фиксировалась, то поступала в общедоступные источники (газеты, журналы и т.д.) далеко не полностью. Соответственно, многие сведения не попали в сферу внимания составителей первых каталогов землетрясений, охватывающих территорию Восточной Сибири [Орлов, 1872; Мушкетов, Орлов, 1893]. Вместе с тем предпринятые в последние годы специальные усилия по поиску дополнительных данных все же позволили обнаружить новые, неизвестные ранее материалы. Это дало возможность выполнить параметризацию некоторых исторических землетрясений на уровне, достаточном для их включения в каталоги землетрясений. Сведения об очаговых параметрах исторических событий Восточного Забайкалья, наряду с исходными данными, можно найти в работах [Чипизубов, 2009; Радзиминович, Щетников, 2009, 2010]. Как следует из указанных публикаций, сейсмический потенциал сейсмогенерирующих структур Восточного Забайкалья может достигать значений  $M = 5.5—6.0$ .

Данные о палеоземлетрясениях на территории Восточного Забайкалья практически отсутствуют. Обнаружение отчетливо выраженных сейсмодислокаций в пределах исследуемого района — задача весьма непростая, поскольку местные землетрясения не достигают значений магнитуд, при которых можно ожидать выхода очага на поверхность. Кроме того, в силу недостаточной изученности Забайкалья в сеймотектоническом отношении, практически невозможно наметить районы, для которых поиск следов сильных землетрясений голоцена—верхнего плейстоцена можно было бы считать приоритетным.

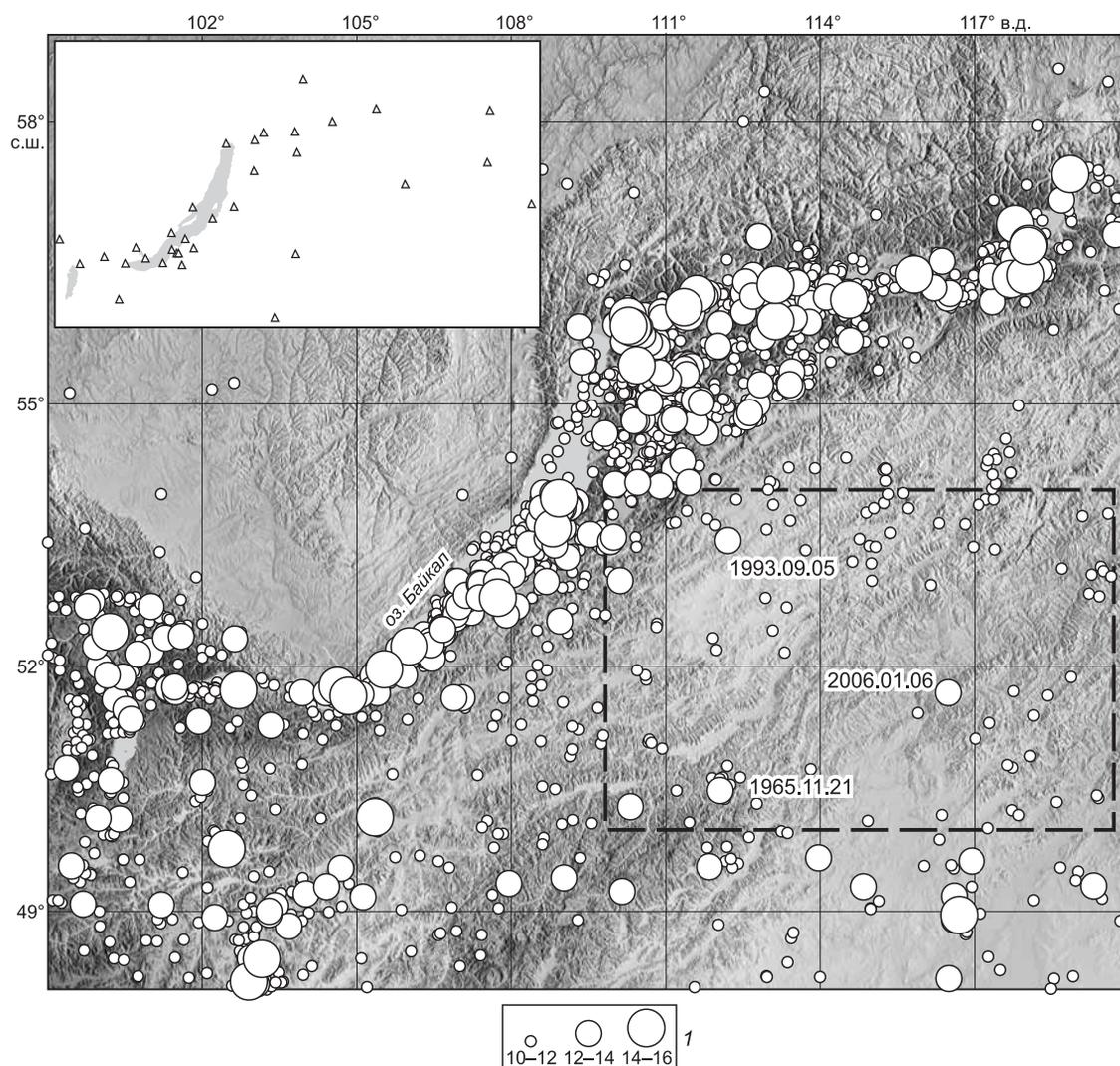
Инструментальные сейсмические наблюдения в Забайкалье стали возможны после организации в начале 1960-х годов региональной сети сейсмических станций. До этого времени определения параметров событий могли осуществляться эпизодически и с невысокой точностью только для наиболее сильных землетрясений, регистрируемых на значительных эпицентральных расстояниях (~ 700—900 км) сейсмической станцией Иркутск (позднее станциями Кабанск и Кяхта), а также сейсмическими станциями мировой сети.

В настоящее время непрерывный сейсмический мониторинг Восточной Сибири, в том числе территории Забайкалья, осуществляет Байкальский филиал Геофизической службы СО РАН. Количество сейсмических станций на территории района исследований явно недостаточно, поэтому точность определения пространственных координат землетрясений оставляет желать лучшего. Так, до 2002 г. (период аналоговой регистрации) ошибка определения координат эпицентра составляла ~ 20 км, с 2002 г., после переоснащения сейсмических станций цифровой аппаратурой — около 10 км. В связи с отсутствием близких станций глубины гипоцентров оцениваются с большой степенью неопределенности [Гилева и др., 2000]. Модернизация сейсмостанций несколько улучшила энергетическую представительность землетрясений: если в конце 1990-х годов представительными для территории Восточного Забайкалья можно было считать лишь землетрясения с  $K_p \geq 9^*$  ( $M \geq 2.7$ ), то в настоящее время таковыми являются события с  $K_p = 8—9$  ( $M \approx 2.2—2.7$ ) на востоке исследуемого района и  $K_p = 7$  ( $M \approx 1.7$ ) — на западе [Мельникова и др., 2009].

На рис. 1 показана карта сейсмических событий юго-восточной части Забайкалья и сопредельных территорий по инструментальным данным за период с 01.01.1962 г. по 31.03.2006 г. Современная сейсмичность рассматриваемого района характеризуется как умеренная и слабая. За период инструментальных наблюдений вплоть до 6 января 2006 г. здесь регистрировались лишь единичные землетрясения с  $K_p > 12$  ( $M > 4.5$ ).

Наиболее полно изучено событие 5 сентября 1993 г. ( $K_p = 13.0$ ,  $M = 5.0$ ), произошедшее в юго-западной части Витимского плоскогорья [Голенецкий, 1998]. Землетрясение сопровождалось афтершоковой серией; эпицентральная область проявляла слабую активность в течение 1994 и 1995 годов. Гипоцентры главного толчка и афтершоков локализованы на глубинах, не превышающих 10 км, средние значения составили 4—6 км [Голенецкий, 1998]. Решение механизма очага землетрясения показало сбросовые движения по плоскостям меридионального или северо-восточного простираний. С.И. Голенецкий, отмечая сходство фокального механизма землетрясения 1993 г. с таковыми в пределах Байкальской рифтовой зоны, высказал предположение о распространении рифтового поля напряжений на Витимское плоскогорье. Отметим также относительно слабые макросейсмические проявления основного землетрясения: оно ощущалось с интенсивностью от 2—3 до 3—4 баллов на эпицентральных расстояниях до 320 км.

\* Используемые значения энергетического класса  $K_p$  рассчитаны по номограмме Т.Г. Раутиан [Rautian et al., 2007].



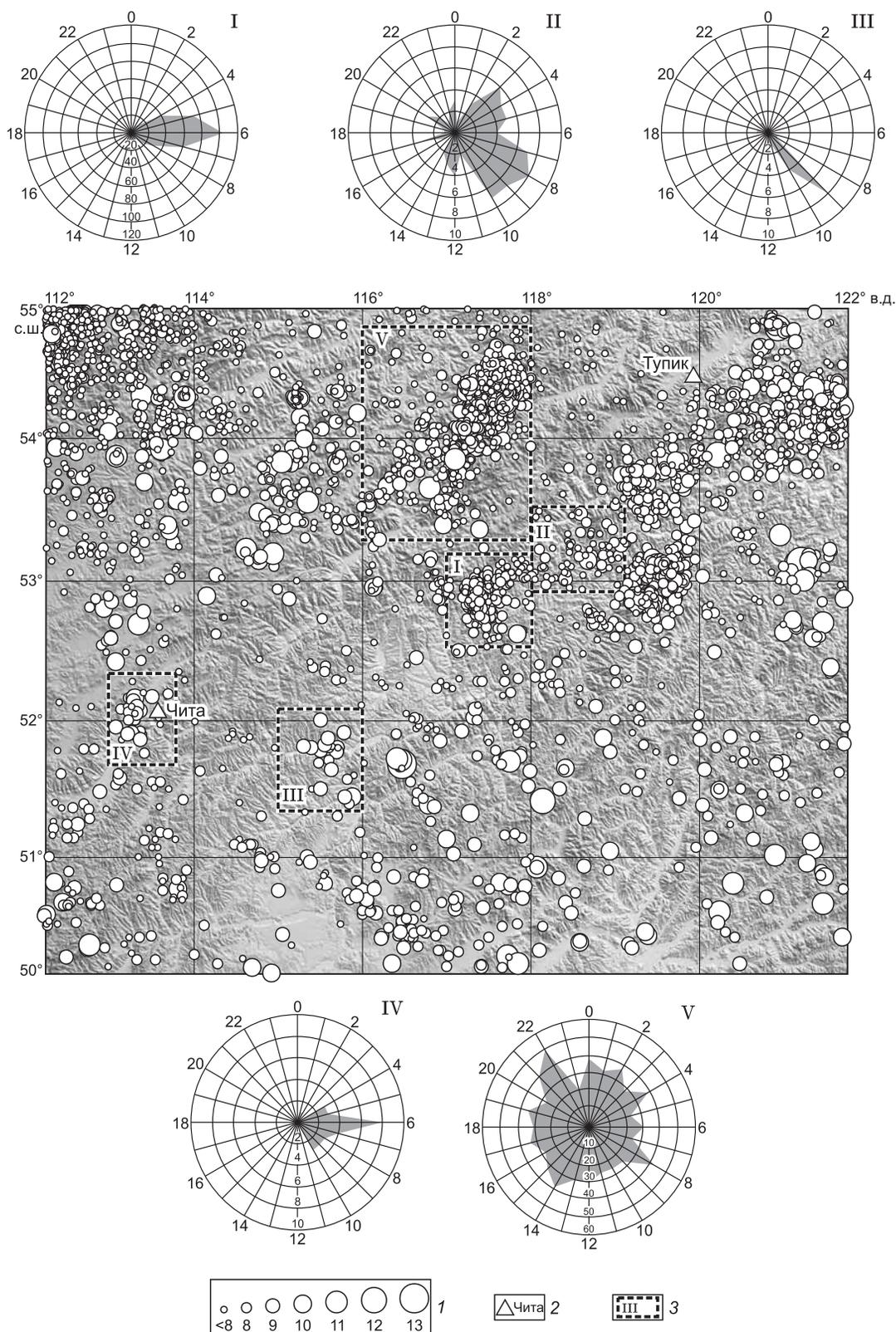
**Рис. 1.** Карта эпицентров землетрясений Прибайкалья и Забайкалья с  $K_p \geq 10$  за период 1960—2007 гг.

На врезке в верхнем левом углу показано пространственное расположение сейсмических станций региональной сети. Район исследований обозначен прямоугольником, датами — эпицентры сильнейших землетрясений Восточного Забайкалья. 1 — энергетический класс землетрясений.

Сходное по энергетическому уровню землетрясение ( $K_p = 14.0$ ,  $M \approx 5.2$ ) произошло 21 ноября 1965 г. на юго-западе Восточного Забайкалья, в районе Даурского хребта. Это событие также характеризовалось наличием форшок-афтершоковой последовательности с энергетическим классом толчков  $K_p = 10—11$  ( $M \approx 3.3—3.9$ ). К сожалению, определения глубины очага землетрясения, а также макросейсмические данные отсутствуют [Мишарина и др., 1967].

В целом эпицентры землетрясений Восточного Забайкалья с низкими и умеренными значениями энергии ( $K_p \approx 9—10$ ,  $M \approx 2.7—3.3$ ) рассредоточены на огромной территории и не обнаруживают заметного тяготения к определенным крупным структурам.

В исследованиях сейсмичности Забайкалья необходимо учитывать также следующий аспект. Как неоднократно указывалось в опубликованных источниках [Голенецкий, Борисова, 1997; Радзиминович, 2007], картина распределения естественной сейсмичности в Забайкалье значительно искажена промышленными взрывами, связанными с карьерной разработкой полезных ископаемых. Визуализация всех зарегистрированных сейсмических событий, в том числе слабых, может создать ложное впечатление о концентрации эпицентров землетрясений в определенных районах и о повышенной активности локальных тектонических структур. Между тем распределение землетрясений по времени возникновения отчетливо демонстрирует принадлежность большинства слабых группирующихся событий узкому и четко



**Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений Восточного Забайкалья с учетом слабых сейсмических событий ( $K_p < 10$ ) за период 1960—2007 гг.**

1 — энергетический класс землетрясений; 2 — сейсмические станции региональной сети; 3 — области сгущения эпицентров. Римские цифры возле областей соответствуют номерам диаграмм распределения событий по времени суток внутри каждой области. Значения, расположенные на диаграммах по вертикальной оси, означают количество сейсмических событий; расположенные по кругу — время суток.

определенному временному диапазону (рис. 2). Такое распределение сейсмических событий по времени совершенно не характерно для естественной сейсмичности, что позволяет сделать однозначный вывод об их искусственной природе. Действительно, практически все подобные события происходили в дневное местное время (пики на диаграммах I—IV, см. рис. 2), тогда как в естественной обстановке распределение землетрясений по времени суток должно быть более или менее равномерным. Примером может служить диаграмма V (см. рис. 2).

### ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 6 ЯНВАРЯ 2006 г.: ОЧАГОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ И СТРУКТУРНАЯ ПОЗИЦИЯ

**Основные параметры землетрясения.** Землетрясение, произошедшее в районе г. Балей 6 января 2006 г. в 01 ч 56 мин 38 с по Гринвичу, стало весьма заметным и в значительной степени неожиданным событием. За период инструментальных наблюдений (с 1962 г.) подобных событий в этом районе зарегистрировано не было. Несмотря на умеренное значение магнитуды ( $mb = 4.7$  [International Seismological..., 2011];  $M_w = 4.6$  [Barth, Wenzel, 2010];  $M_w = 4.4$  [Мельникова и др., 2011]), землетрясение охватило значительную площадь и ощущалось на территории Балейского, Оловянинского, Шилкинского, Нерчинского, Сретенского районов Читинской области (в настоящее время Забайкальского края), а также в областном центре. По месту локализации эпицентра событие может быть названо Балейским.

Балейское землетрясение было зарегистрировано всеми сейсмическими станциями Прибайкалья, а также станциями сейсмических сетей соседних регионов. Для определения координат эпицентра в Байкальском филиале ГС СО РАН (БФ ГС СО РАН) были использованы записи, полученные на 33 станциях при эпицентральных расстояниях от 204 км (Чита) до 1388 км (Тоджа, АС ГС СО РАН). Одной из основных проблем при регистрации землетрясений в пределах Восточного Забайкалья является значительная брешь в азимутальном распределении сейсмических станций относительно эпицентральных областей. Если в западных, северо-западных и северных румбах количество станций можно считать приемлемым, то в восточном и южном направлениях сейсмических станций почти нет (рис. 3, а).

Наряду с БФ ГС СО РАН основные параметры землетрясения были также определены мировыми сейсмологическими агентствами (табл. 1, см. рис. 3, б). Локализация эпицентра, по данным различных агентств, демонстрирует небольшой разброс, однако в целом согласованность решений можно признать удовлетворительной. Отдельное место занимает решение Китайского сейсмологического бюро — эпицентр смещен к востоку относительно решений других агентств. К сожалению, в китайском решении для основных параметров события не указаны ошибки определения, поэтому его сложно напрямую сопоставлять с локализацией по данным прочих сейсмических сетей. Решение БФ ГС СО РАН характеризуется наименьшим эллипсом ошибок (см. рис. 3, б) и в связи с этим в настоящей работе оно может быть принято как базовое.

Землетрясение 6 января 2006 г. сопровождалось слабой афтершоковой серией. До конца 2006 г. в эпицентральной области основного события было зарегистрировано всего шесть повторных толчков с  $K_p = 6.5—11.4$  ( $M \approx 1.4—4.1$ ) (табл. 2). Примечательно, что на протяжении предшествующего 2005 г. и последующего 2007 г. в районе эпицентра землетрясения и на прилегающей территории не было зафиксировано ни одного толчка. Балейское землетрясение, таким образом, является неординарным случаем

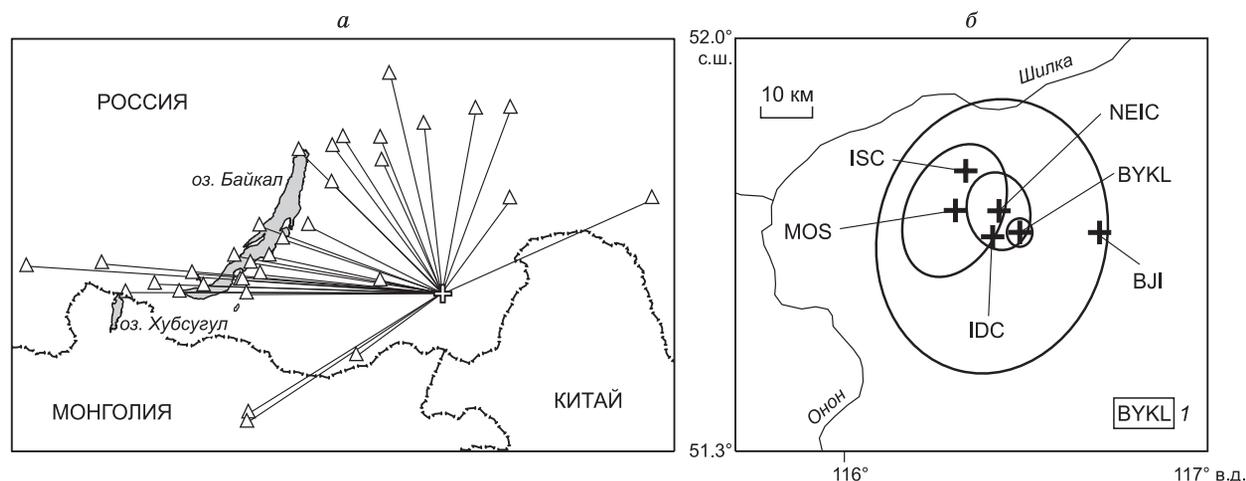


Рис. 3. Расположение эпицентра относительно региональных сейсмических станций (а) и решения эпицентра главного толчка (б).

I — агентство (см. табл. 1).

Таблица 1.

**Основные параметры очага Балейского землетрясения 06.01.2006 г.  
по данным различных сейсмологических агентств**

№ п/п	Агентство	$t_0$ , ч:мин:с	$\delta t_0$ , с	Гипоцентр			Магнитуда*
				Координаты		$h$ , км	
				с.ш.	в.д.		
1	БЫКЛ	01:56:37.7	0.6	$51.68 \pm 0.02$	$116.47 \pm 0.04$	—	$K_p = 13.3/28$
2	MOS	01:56:39.5	1.2	$51.72 \pm 0.07$	$116.29 \pm 0.09$	26	$mb = 4.7/37$
3	NEIC	01:56:38.9	0.2	$51.72 \pm 0.04$	$116.41 \pm 0.06$	10	$mb = 4.6/36$
4	IDC	01:56:37.3	0.5	$51.67 \pm 0.14$	$116.39 \pm 0.21$	—	$MS = 3.6/3, m_b = 4.3/20$
5	ВЛ	01:56:37.9	—	51.68	116.69	7	$Ms = 4.6, m_B = 4.9, m_b = 4.6$
6	ISC	01:56:38.8	0.2	$51.78 \pm 0.02$	$116.32 \pm 0.03$	10	$MS = 3.7/8, m_b = 4.5/60$

Примечание. Данные сейсмологических агентств (БЫКЛ — Байкальский филиал Геофизической службы СО РАН, Россия; IDC — The International Data Centre, Австрия; ВЛ — China Seismological Bureau, Китай; NEIC — National Earthquake Information Center, США; MOS — Геофизическая служба РАН, Россия; ISC — International Seismological Center, Великобритания) заимствованы с web-сайта ISC (<http://www.isc.ac.uk>).

\* После значений магнитуд указано количество сейсмических станций, данные которых были использованы соответствующими сейсмологическими агентствами.

Таблица 2. **Афтершоки Балейского землетрясения 6.01.2006 г., зарегистрированные за период с 1 января по 31 декабря 2006 г. (51—52° с.ш., 116—117° в.д.)**

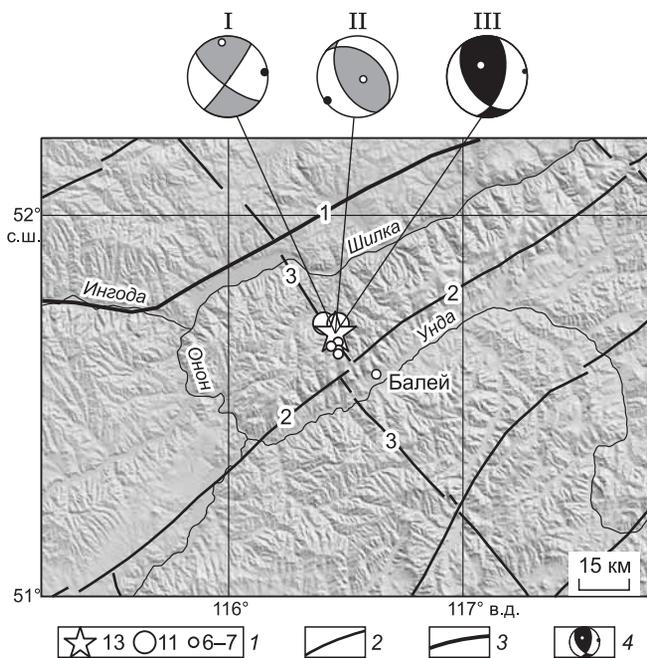
№ п/п	Дата	Время, ч:мин:с	Координаты, град		$K_p$
			с.ш.	в.д.	
1	06.01.06	12:36:21.1 ± 1.0	$51.66 \pm 0.04$	$116.44 \pm 0.07$	$8.3 \pm 0.4$
2	02.02.06	16:16:16.1 ± 2.1	$51.67 \pm 0.12$	$116.47 \pm 0.18$	$6.5 \pm 0.4$
3	24.03.06	10:55:29.3 ± 0.6	$51.71 \pm 0.03$	$116.46 \pm 0.03$	$11.4 \pm 0.2$
4	25.09.06	1:46:21.7 ± 0.5	$51.72 \pm 0.02$	$116.41 \pm 0.03$	$10.6 \pm 0.3$
5	06.12.06	13:05:35.4 ± 0.8	$51.64 \pm 0.04$	$116.47 \pm 0.07$	$8.5 \pm 0.8$
6	30.12.06	14:59:24.8 ± 0.9	$51.65 \pm 0.03$	$116.47 \pm 0.06$	$6.6 \pm 0.3$

проявления сейсмической активности. Тем не менее можно предположить, что сейсмическое молчание эпицентральной области и прилегающих районов отчасти объясняется недостаточными возможностями регистрирующей сети. Эпицентральной область Балейского события расположена практически на границе между зонами энергетической представительности  $K_p = 8$  и  $K_p = 9$  ( $M \approx 2.2$  и  $2.8$ ) [Мельникова и др., 2009], следовательно, более слабые землетрясения ( $c K_p < 9, M < 2.2$ ) регистрируются со значительными пропусками.

**Структурная позиция и механизм очага.** Новейший этап развития Забайкалья характеризуется умеренными и слабыми тектоническими движениями положительного знака, интенсивность которых снижается с запада на восток. Мощность земной коры колеблется в пределах 40—42 км [Сейсмическое районирование..., 1977]. Информация о напряженно-деформированном состоянии земной коры в рассматриваемом районе практически отсутствует, что связано с малой сейсмической активностью [Мельникова, 2003].

Согласно «Карте разломов юга Восточной Сибири» [1988], территории Восточного Забайкалья свойственна довольно густая сеть разломов, имеющих различный возраст заложения (ранний и поздний протерозой, палеозой, мезозой). Несмотря на древний возраст и длительную историю развития в геологическом прошлом, многие структуры имеют признаки кайнозойской активизации. В структурном плане преобладают разломы северо-восточного простирания, однако существует также значительное число структур северо-западного и меридионального направления.

Эпицентр землетрясения (с учетом ошибок определения) расположен вблизи разломного узла, образованного заложением в раннем протерозое Балей-Дарасунским разломом неустановленной кинематики и Борщовочным сбросом позднепротерозойского возраста (рис. 4). Обе структуры имеют признаки кайнозойской активизации. Борщовочный сброс в разное геологическое время характеризовался сдвиговыми движениями. Кроме того, тектоническая обстановка здесь осложняется тем, что Балей-Дарасунский и Борщовочный разломы в районе эпицентра секутся локальным безымянным разломом субмеридионального простирания. Сближенные системы разрывных нарушений типа сбросов, взбросов, сдвигов и



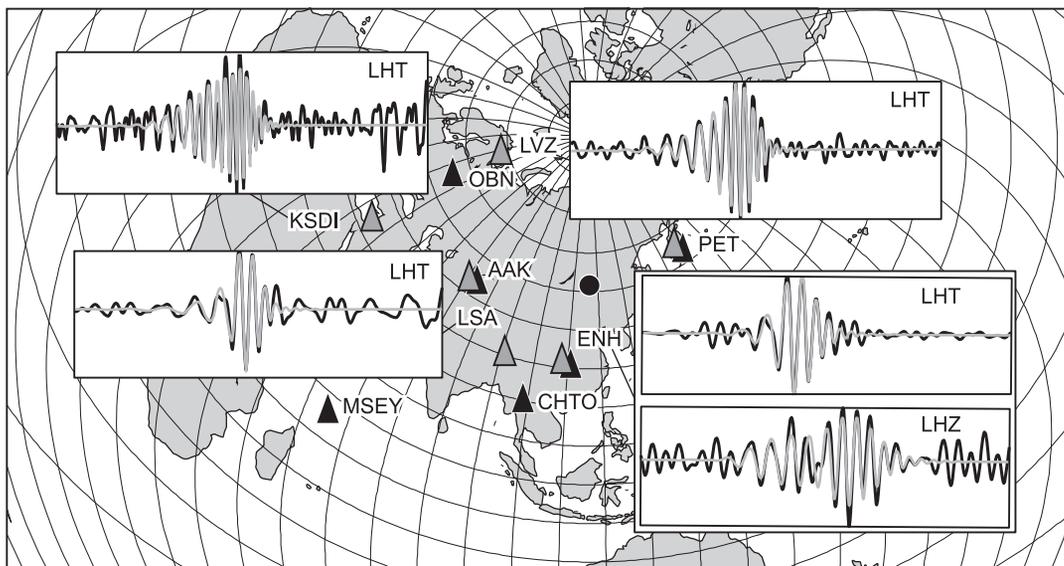
**Рис. 4. Местоположение эпицентров Байлейского землетрясения и его афтершоков и имеющиеся решения фокального механизма.**

1 — основной толчок (звездочка) и афтершоки (кружочки) землетрясения с указанием энергетического класса  $K_p$ ; 2 — разломы регионального ранга; 3 — краевые и структурные швы; 4 — варианты решения механизма очага в проекции нижней полусферы, по материалам [Barth, Wenzel, 2010] (I), [Мельникова и др., 2011] (II) и настоящей работы (III). Цифрами на карте обозначены разломы: 1 — Ингодино-Шилкинский, 2 — Борщовочный, 3 — Байлей-Дарасунский [Карта..., 1988].

надвигов, которые под разными углами причленяются к основной структурной линии глубинного разлома, являются одной из особенностей Восточного Забайкалья [Булгатов и др., 1978].

В работе [Barth, Wenzel, 2010] механизм очага Байлейского землетрясения определен с помощью инверсии фазовых и амплитудных спектров объемных и поверхностных волн для диапазона периодов колебаний 34—58 с. Авто-

рамы использовалась сферически-симметричная модель PREM [Dziewonski, Anderson, 1981]; шаг дискретизации по глубине составлял 4 км. В результате в очаге установлены субвертикальные плоскости разрывов с практически чистыми сдвиговыми смещениями (табл. 3, см. рис. 4). Второй вариант решения фокального механизма, полученный в работе [Мельникова и др., 2011] по знакам первых вступлений продольных сейсмических волн на региональных станциях, показал, что в очаге Байлейского землетрясения реализовались взбросовые подвижки по плоскостям разрывов северо-западного простирания (см. рис. 4, табл. 3). Углы выхода сейсмических волн из очага рассчитывались с однослойной скоростной моделью земной коры и глубине очага 15 км, а точность решения оценивалась пределами изменения углов погружения осей главных напряжений (сжатия, растяжения, промежуточной) относительно



**Рис. 5. Схема расположения сейсмических станций, записи которых использованы для определения тензора сейсмического момента Байлейского землетрясения.**

Кружком обозначен эпицентр землетрясения, черными треугольниками — станции, на которых получены спектры основной моды волн Рэлея, серыми треугольниками — станции, на которых получены спектры основной моды волн Лява; коды станций соответствуют международным. Для некоторых станций приведены записи на широкополосных каналах LHZ и LHT (вертикальная и трансверсальная компоненты записи) исходного (черная кривая) и отфильтрованного (серая кривая) сигналов.

Таблица 3. Очаговые параметры Балейского землетрясения по разным источникам

Источник, метод	$h$ , км	$M_0 \cdot 10^{16}$ , Н·м	$M_w$	NP1			NP2			Функция нормированной невязки*
				STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP	
[Настоящая работа], TCM	14	0.70	4.5	15	55	125	144	48	51	0.27
[Barth, Wenzel, 2010], TCM	10	—	4.4	36	85	163	127	73	5	0.40
[Мельникова и др., 2011], FM	—	0.76	4.6	309	40	72	152	52	105	—

Примечание. TCM — тензор сейсмического момента, FM — решение по первым вступлениям сейсмических волн.  $h$  — глубина гипоцентра,  $M_0$  — сейсмический момент,  $M_w$  — моментная магнитуда; STK, DP, SLIP — параметры nodальных плоскостей NP1, NP2 (град): STK — азимут простирания, DP — угол падения, SLIP — угол подвижки.

\* В работе [Barth, Wenzel, 2010] для оценки качества полученного решения используется величина (0.16), аналогичная квадрату функции нормированной невязки [Lasserre et al., 2001], поэтому для приведения величин к одному виду из этой величины извлечен квадратный корень.

горизонта и в данном случае не превышала  $10^\circ$ . Приведенные выше решения имеют существенные различия, но их объединяет одинаковое положение оси сжатия — в обоих случаях она близгоризонтальна и ориентирована в субширотном направлении. По всей вероятности, разница в решениях обусловлена использованием в качестве исходных данных записей различного частотного диапазона (длинно- и короткопериодных).

С целью уточнения очаговых параметров Балейского землетрясения в настоящей работе использовались сейсмограммы, записанные на телесеизмических и региональных расстояниях ( $< 1000$  км). В частности, тензор сейсмического момента землетрясения был рассчитан по записям поверхностных волн на широкополосных каналах девяти цифровых сейсмических станций сетей Global Seismographic Network (IRIS/IDA и IRIS/USGS), New China digital Seismograph Network и GEOSCOPE. Эпицентр данного события, положение регистрирующих станций, а также информация о типе волн, используемых на каждой станции, представлены на рис. 5. Минимальное и максимальное эпицентральные расстояния составили 2446 и 8479 км соответственно.

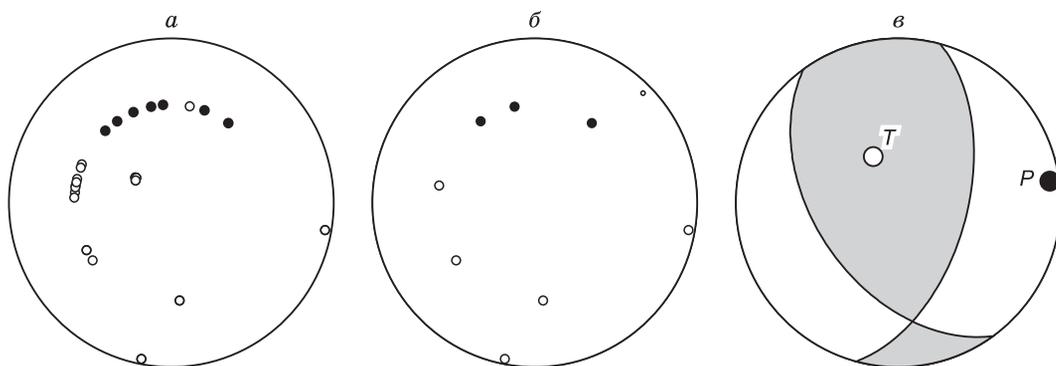
Для каждой станции с помощью метода спектрально-временного анализа (СВАН) [Levshin et al., 1972; Бат, 1980; Russel et al., 1988] были получены спектры основной моды волн Рэля и Лява в пределах диапазона периодов колебаний от 30 до 70 с. Анализу подвергались только те сейсмограммы, на которых были видны четкие, не осложненные существенными помехами, записи поверхностных волн. Выбор диапазона периодов был обусловлен необходимостью удовлетворить приближению точечного источника, с одной стороны, и особенностями излучения поверхностных волн мелкофокусным источником, с другой [Букчин, 2006].

Для расчета тензора сейсмического момента (в приближении двойной пары сил) и глубины очага был применен метод Б.Г. Букчина [1989], согласно которому очаг можно описать пятью параметрами: глубиной диполя, сейсмическим моментом и фокальным механизмом: азимутом простирания (STK), углом падения (DP) и углом подвижки (SLIP) или двумя единичными векторами (направлениями осей главных напряжений). В процессе инверсии четыре из вышеперечисленных значений определяются перебором в четырехмерном параметрическом пространстве, а сейсмический момент рассчитывается с помощью минимизации невязок между наблюдаемыми и вычисленными амплитудными спектрами поверхностных волн для каждой комбинации остальных величин.

При расчетах спектров поверхностных волн для описания строения земной коры в окрестностях очага землетрясения и под сейсмическими станциями была использована модель 3SMAC [Nataf, Ricard, 1996], а строение верхней мантии задавалось сферически-симметричной моделью PREM [Dziewonski, Anderson, 1981]. Для расчета затухания поверхностных волн были использованы значения добротности из модели PREM.

Известно, что использование только амплитудных спектров поверхностных волн не дает однозначного определения механизма очага землетрясения [Mendiguren, 1977]. Для нахождения единственного решения дополнительно были использованы надежные знаки первых вступлений объемных волн на региональных станциях (рис. 6). Для каждой комбинации очаговых параметров рассчитывалась диаграмма направленности излучения объемных волн и производилось ее сравнение с наблюдаемыми знаками вступлений. Предварительно была произведена процедура разрежения знаков [Lasserre et al., 2001].

В результате были получены глубина и механизм очага, скалярный сейсмический момент ( $M_0$ ) и моментная магнитуда землетрясения ( $M_w$ ). Из табл. 3 видно, что два последних параметра по своим зна-



**Рис. 6.** Стереогаммы (в нижней полусфере), показывающие знаки вступлений продольных волн на региональных станциях до (а) и после (б) процедуры сглаживания знаков (светлыми точками обозначены минусы, темными — плюсы) и механизм очага Балейского землетрясения (в).

Точки *P* и *T* — выходы осей сжатия и растяжения.

чениям близки аналогичным, приведенным в других публикациях. Что касается теперь уже трех вариантов решения фокального механизма землетрясения, то базовым можно считать решение, полученное в настоящей статье, поскольку оно основано на использовании как длиннопериодных (поверхностные волны), так и короткопериодных (знаки первых вступлений) сейсмических колебаний. Обсуждая разницу между решением [Barth, Wenzel, 2010] и приведенным в данной статье, можно предположить, что кроме использования различных частотных диапазонов записей, она обусловлена выбором разных скоростных моделей среды [Henry et al., 2002]. В первом случае, как указано выше, в расчетах использовалась сферически-симметричная модель PREM, во втором — учитывалась горизонтальная неоднородность среды. Кроме того, в пользу нашего решения свидетельствует меньший шаг дискретизации по глубине (2 км), обеспечивающий более надежную локализацию гипоцентра, чем в работе [Barth, Wenzel, 2010] (шаг дискретизации 4 км).

Таким образом, устойчивое решение механизма очага Балейского землетрясения, полученное в данной работе, свидетельствует о сдвиговзбросовых смещениях по плоскостям разрывов северо-западного и субмеридионального простираний (см. табл. 3), что не противоречит умеренным и слабым тектоническим движениям положительного знака, наблюдавшимся в новейший этап развития территории Восточного Забайкалья и структурной позиции очага землетрясения.

### МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ

В условиях недостатка инструментальных данных значительную ценность для решения некоторых задач представляют сведения об осязательных эффектах землетрясения. В случае Балейского землетрясения макросейсмические данные получены главным образом с помощью рассылки опросных листов в населенные пункты Забайкалья. Отметим, что для территории Восточного Забайкалья возможность получить сколько-нибудь детальную макросейсмическую информацию представляется нечасто. Краткое изложение материалов для некоторых населенных пунктов приводится ниже.

**Балей.** Землетрясение ощущалось людьми, находившимися как в зданиях, так и на открытом воздухе; наблюдались волнообразные колебания. Некоторые из очевидцев в испуге выходили из домов, другие оставались на месте. Гремела посуда в шкафах, дребезжали стекла окон, дрожала мебель. С полок падали неустойчивые предметы. В кирпичном здании детского дома на втором этаже двигались коробки с игрушками. В деревянных одноэтажных домах отмечено появление трещин в штукатурке. При землетрясении слышался глухой гул. Некоторые из очевидцев отмечали ухудшение самочувствия: повышенное давление, головокружение, усиленное сердцебиение.

**Шилка.** Землетрясение замечено большинством людей в виде сильного короткого удара. Спавшие просыпались, испытывая испуг; некоторые люди покинули помещения. В зданиях скрипели полы и потолки, дребезжали посуда и стекла окон, колебались висячие предметы; отмечено колебание жидкости в открытой посуде. Дрожала и скрипела мебель; легкие предметы на полках сдвигались со своих мест. Отмечены повреждения штукатурки в виде тонких трещин по стыкам стен. Домашние животные в помещениях (собаки и кошки) перед землетрясением вели себя беспокойно и искали укрытие; во дворах во время толчков слышался лай собак. При землетрясении слышался гул, напоминавший шум от проходящего вблизи поезда.

**Нерчинск.** Землетрясение замечено всеми людьми в помещениях в состоянии покоя (стояли, сидели, лежали), а также в стоявших автомашинах. Спавшие просыпались. Люди испугались, но остались на местах. Дребезжала посуда, колебались висячие предметы. Отмечены повреждения штукатурки в виде тонких трещин. Перед землетрясением отмечено беспокойство домашних животных. Землетрясение ощущалось во всех населенных пунктах Нерчинского района.

В пос. **Букача** землетрясение также ощущалось всеми людьми в помещениях, однако испуга не было. Из эффектов землетрясения отмечены дребезжание посуды и подземный гул, напоминавший прохождение тяжелой техники. Согласно полученной нами информации, было также отмечено беспокойное поведение домашних животных.

В пос. **Карымское** землетрясение в виде легкого дрожания замечено отдельными людьми в помещениях. В деревянных домах слышался скрип полов и потолков. В пос. **Дарасун** легкое колебание было замечено только в части населенного пункта, расположенной на правом берегу р. Ингода.

В пос. **Арбагар** землетрясение замечено всеми людьми в помещениях. Некоторые в испуге покидали помещения, некоторые оставались на местах. Дребезжали посуда и стекла окон, дрожала мебель, колебались висячие предметы. Легкие предметы падали со столов и полок. В зданиях отмечено осыпание побелки; в штукатурке возникли тонкие трещины.

В пос. **Калангуй** землетрясение ощущалось всеми людьми, находившимися в помещениях, некоторые в испуге их покидали. Слышалось дребезжание посуды и оконных стекол, незакрепленные предметы сдвигались со своих мест. В некоторых старых и ветхих шлакоблочных зданиях отмечены повреждения штукатурки и появление тонких трещин в стенах. Землетрясение сопровождалось сильным подземным гулом. В отдельных частных домах, расположенных в северной части поселка, землетрясение никем не ощущалось. Отмечено сильное беспокойство домашних животных.

**Первомайский.** Землетрясение ощущалось людьми в помещениях на первых—пятых этажах и на открытом воздухе, замечено идущими по улице людьми. Многие испугались, некоторые выходили из домов. В зданиях скрипели полы и потолки, дребезжала посуда и стекла окон, дрожала и скрипела мебель, колебались висячие предметы и жидкость в открытой посуде. В двухэтажном деревянном доме (возраст около 50 лет) на кирпичной перегородке потрескалась и частично осыпалась штукатурка вместе с глазурованной плиткой (единичный случай). При землетрясении слышался гул. Очевидцы отмечают стремление домашних животных покинуть помещения.

**Вершино-Дарасунский.** Землетрясение в виде волнообразных колебаний замечено людьми в помещениях, а также в стоявших автомашинах и на открытом воздухе, в том числе идущими по улице людьми. Некоторые люди вышли из домов на улицу. Колебались висячие предметы, дребезжали посуда и стекла окон, дрожала мебель. На столах и полках предметы сдвигались со своих мест и падали. При землетрясении слышался гул.

**Сретенск.** Землетрясение замечено большинством людей в зданиях на различных этажах. Дребезжали посуда и стекла окон; дрожала и скрипела мебель; колебались висячие предметы. Колебания походили на сотрясения, создаваемые проезжающим тяжело нагруженным грузовиком.

**Чита.** Землетрясение ощущалось практически на всех этажах зданий различного типа, в основном в виде одного или двух толчков. Спавшие просыпались; в помещениях вибрировала и качалась мебель, в некоторых случаях слышался скрип полов и стен, колебались висячие предметы (люстры). Дребезжали и звенели посуда и стекла, подвески на люстрах и елочные игрушки; раскачивались новогодние елки, цветы на подоконниках, колебались шторы. В управлении гидрометеослужбы в мастерской на первом этаже скрипели станки. Перечисленные эффекты отчетливо проявлялись на первых-третьих этажах. В помещениях на верхних этажах отмечены сходные явления несколько большей интенсивности. Хлопали неплотно закрытые дверцы шкафов, колебалась мебель, тряслись столы и стулья, мелкие легкие предметы смещались с места. Ощущались колебания пола под ногами. Отмечены небольшие смещения легкой мебели со своих мест. Домашние животные проявляли беспокойство, в некоторых случаях до землетрясения.

Помимо перечисленных пунктов землетрясение ощущалось на территории Оловянинского, Шилкинского, Балейского, Нерчинского, Сретенского районов. Оценки макросейсмической интенсивности по шкале MSK-64 представлены в табл. 4, схема макросейсмических проявлений приведена на рис. 7.

Имеющиеся в нашем распоряжении данные позволяют уверенно провести пятибалльную изосейсту. Фактически она является первой, наиболее близкой к очагу, и отражает сильнейшие макросейсмические эффекты. Изосейста, оконтуривающая область сотрясений с интенсивностью 4 балла, проводится менее уверенно: к северо-западу и юго-востоку от эпицентра макросейсмических сведений нет и изосейста имеет здесь условный характер.

Макросейсмические сведения, в зависимости от их полноты, позволяют получить независимые оценки некоторых параметров очага землетрясения, прежде всего координат макросейсмического эпи-

Таблица 4. Макросейсмические данные о Бале́йском землетрясении 06.01.2006 г.

№ п/п	Пункт	$\Delta$ , км	$I$ , баллы
1	Балей	19	5—6, гул
2	Арбагар	27	5
3	Шилка	31	5, гул
4	Нерчинск	35	5, гул
5	Чирон	48	5
6	Первомайский	54	5, гул
7	Калангуй	77	5, гул
8	Вершино-Дарасунский	94	5, гул
9	Нижний Стан	98	5
10	Верх-Усугли	139	5
11	Уненкер	74	4
12	Оловянная	103	4
13	Сретенск	105	4
14	Букачача	145	4, гул
15	Чита	200	4
16	Шелопугино	78	3—4, гул
17	Карымское	143	3—4
18	Дарасун	167	3
19	Вершино-Шахтаминский	112	2—3, гул
20	Краснокаменск	211	0
21	Хапчеранга	362	0
22	Тупик	385	0
23	Гуля	452	0

центра, а также глубины очага. Для Бале́йского землетрясения в качестве макросейсмического эпицентра может быть принят геометрический центр пятибалльной изосейсты — это точка с приближительными координатами  $51.8^\circ$  с.ш.,  $115.9^\circ$  в.д.

Вопрос об определении глубины очага по макросейсмическим данным представляется несколько более сложным. Как следует из работы Н.В. Шебалина [2003], более или менее надежное определение этого параметра может быть получено при использовании нескольких изосейст, в том числе далеких. В случае Бале́йского землетрясения мы располагаем только надежной первой изосейстой и частично предполагаемой второй. Для проведения третьей изосейсты пунктов с известной балльностью уже явно не хватает. В связи с этим применение способов расчета глубины очага по средним радиусам изосейст (средним эпицентральных расстояниям) или по их площадям для Бале́йского землетрясения представляется недостаточно обоснованным. Тем не менее возможно применение иного способа, основанного на уравнении  $(I_0, M, h)$ -корреляции [Шебалин, 2003]. В этом случае требуется только значение эпицентральной интенсивности, а также значение магнитуды, определенной инструментальным способом:

$$I_0 = bM - v \lg h + c, \quad (1)$$

где  $I_0$  — эпицентральная интенсивность землетрясения;  $M$  — магнитуда;  $h$  — глубина очага;  $b$ ,  $v$  и  $c$  — эмпирические коэффициенты. Из уравнения (1) формула для расчета глубины очага будет иметь следующий вид [Шебалин, 2003]:

$$h = 10^{\frac{bM - I_0 + c}{v}}. \quad (2)$$

Значение эпицентральной интенсивности  $I_0$  можно оценить в 6 баллов по шкале MSK-64. Магнитуда землетрясения, согласно нашим оценкам, составила  $M_w = 4.5$ . Для коэффициентов  $b$ ,  $v$  и  $c$  могут быть приняты либо осредненные общемировые значения 1.5, 3.5 и 3 соответственно, либо региональные оценки, выполненные для территории Прибайкалья и равные 1.5, 4 и 4 [Новый каталог..., 1977]. С учетом приведенных параметров приблизительное значение глубины очага составит 12 км при использовании первого набора коэффициентов и 15 км при использовании второго, что неплохо согласуется с инструментальной оценкой ( $h = 14$  км).

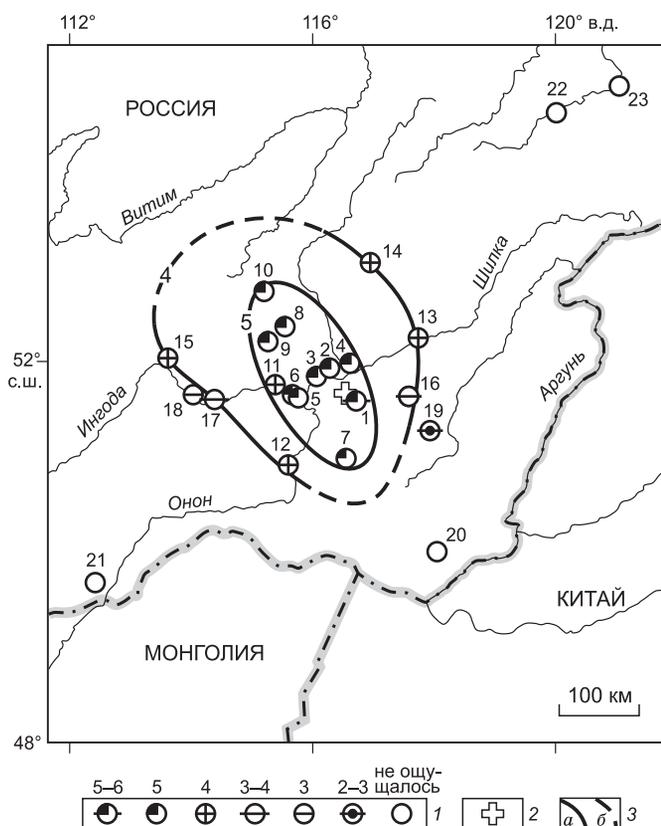
## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Геодинамические процессы, протекающие на юго-востоке Евразии, в значительной мере ответственны за проявления современной сейсмичности на территории Забайкалья. Если в близких к Байкальскому рифту районах интенсивность тектонических движений и сейсмического процесса остается относительно заметной, то по мере удаления от рифта на восток тектоническая и сейсмическая активность снижаются [Сейсмическое районирование..., 1977; Семинский, Радзиминович, 2011]. По геодезическим данным, в этом же направлении значительно уменьшаются скорости горизонтальных деформаций земной коры [Calais et al., 2006]. В пределах территории Восточного Забайкалья влияние рифтовых процессов уже практически не ощущается, что позволяет говорить о ее собственном геодинамическом режиме.

Согласно современным представлениям, рассматриваемая территория относится к Амурской плите, смещающейся на юго-восток относительно Евразии [Petit, Fournier, 2005; Calais et al., 2006; Jin et al.,

**Рис. 7. Карта макросейсмических проявлений Байлейского землетрясения 6 января 2006 г.**

1 — интенсивность сотрясений в баллах шкалы MSK-64; 2 — инструментальный эпицентр; 3 — изосейста: *a* — достоверная, *б* — предполагаемая. Номера пунктов соответствуют таковым в табл. 4.



2007; Barth, Wenzel, 2010; Лухнев и др., 2010; Ашурков и др., 2011]. По данным GPS-измерений, скорость движения плиты в районах, прилегающих к Байкальскому рифту, достигает 2—3 мм/год [Лухнев и др., 2010], в то время как в районах, расположенных восточнее, значение скорости составляет лишь 1.5—1.6 мм/год [Ашурков и др., 2011]. Геодзические [Calais et al., 2006] и сейсмологические данные (расчет параметров сеймотектонических деформаций на территории Центральной и Восточной Азии [Мельникова, 2008]) свидетельствуют о том, что северо-восточное направление сжимающих усилий, действующих со стороны Индо-Евразийской коллизии, при приближении к Восточному Забайкалью плавно меняется на широтное. В Восточном Забайкалье наряду с генеральными разломами северо-восточного простирания широко представлены структуры северо-западного и меридионального направлений [Карта..., 1988]. Таким образом, возникновение очагов отдельных сильных землетрясений контролируется как общими геодинамическими процессами, так и взаимодействием регионального поля напряжений с разломной тектоникой и, как следствие, появлением локальных вариаций напряженно-деформированного состояния коры.

В случае Байлейского землетрясения во всех имеющихся решениях фокального механизма мы видим наличие плоскости северо-западного простирания при субширотно ориентированных сжимающих усилиях. Это неплохо согласуется с генеральным субширотным направлением деформации укорочения в этой части Центральной Азии [Мельникова, 2008], способствующей появлению взбросовых подвижек в очагах землетрясений.

Как указывалось выше, в районе эпицентра Байлейского землетрясения расположен Байлей-Дарасунский разлом с простиранием  $322^\circ$ . Одна из плоскостей разрывов в очаге, падающая на юго-запад, имеет близкий азимут простирания ( $324^\circ$  в северных румбах) и характеризуется подвижками типа надвига. Сопоставляя азимуты простираний разлома и указанной нодальной плоскости, мы можем констатировать их практически полное соответствие. Кроме того, с северо-западным простиранием рабочей плоскости хорошо согласуется макросейсмическая информация. Длинная ось первой (пятибалльной) изосейсты ориентирована именно вдоль указанного направления и также практически совпадает с простиранием Байлей-Дарасунского разлома (см. рис. 7). Исходя из изложенных данных, мы можем с большой долей вероятности утверждать, что плоскость в очаге с северо-западным простиранием является истинной. Таким образом, устанавливается приуроченность очага Байлейского землетрясения к Байлей-Дарасунскому разлому и подтверждается активность этой структуры на позднекайнозойском этапе развития.

Решение фокального механизма землетрясения, полученное в данной работе, отражает один из кинематических типов сопряжения активных разломов, ограничивающих разноранговые разломно-блоковые структуры в его эпицентральной области. Восходящие движения в очаге объясняются сближением в северо-восточном направлении локальных блоков земной коры, расположенных по обе стороны сегмента Байлей-Дарасунского разлома.

К сожалению, вопрос о сейсмическом потенциале Байлей-Дарасунского разлома, равно как и других расположенных здесь активных структур, освещен не полностью. Полученное по результатам наших исследований значение моментной магнитуды  $M_w = 4.5$  несколько ниже магнитуд, устанавливаемых

по историческим материалам для землетрясений прошлого. Судя по этим данным, в Восточном Забайкалье возможны более сильные землетрясения — во второй половине XIX — начале XX в. здесь были отмечены неоднократные сейсмические события с магнитудой  $M \geq 5$ . В условиях современной развитой инфраструктуры они способны причинить серьезный ущерб гражданским и промышленным объектам. Балейскому землетрясению 6 января 2006 г. предшествовал период длительного относительного затишья — последнее ощутимое событие произошло здесь в 1936 г. (ощущалось в г. Сретенск) [Попов, 1939; Радзиминович, Щетников, 2010]. Не исключено, что Балейское событие является началом новой активизации сейсмической деятельности в Восточном Забайкалье. Для окончательного решения вопроса о сейсмическом потенциале активных структур района исследований необходимы целенаправленные детальные сейсмологические и сейсмогеологические исследования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог настоящей работы, отметим, что Балейское землетрясение предоставило возможность значительно восполнить недостаток сведений о сейсмичности Восточного Забайкалья. По существу, оно может рассматриваться как единственный источник подобных данных за весь инструментальный период наблюдений (с 1960 г.). Надежность полученной информации об очаговых параметрах землетрясения и относительно подробная макросейсмическая информация дают возможность для уточнения оценок сейсмической опасности и сейсмического риска в пределах исследуемой части Восточной Сибири.

В процессе наших исследований остро обозначились проблемы в изучении сейсмичности и геодинамики Восточного Забайкалья. Недостаток сейсмических станций не позволяет в должной мере оценить активность отдельных тектонических структур и составить четкое представление о глубинном строении территории в целом. Совершенствование возможностей сейсмологического мониторинга и повышение детальности исследований возможно только при условии радикального увеличения количества сейсмических станций, оснащенных современной регистрирующей аппаратурой.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН 16.8 и междисциплинарного интеграционного проекта № 111.

## ЛИТЕРАТУРА

**Ашурков С.В., Саньков В.А., Мирошниченко А.И., Лухнев А.В., Сорокин А.П., Серов М.А., Бызов Л.М.** Кинематика Амурской плиты по данным GPS-геодезии // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (2), с. 299—311.

**Бат М.** Спектральный анализ в геофизике. М., Недра, 1980, 535 с.

**Букчин Б.Г.** Об определении параметров очага землетрясения по записям поверхностных волн в случае неточного задания характеристик среды // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли, 1989, № 9, с. 34—41.

**Букчин Б.Г.** Особенности излучения поверхностных волн мелкофокусным источником // Физика Земли, 2006, № 8, с. 88—93.

**Булгатов А.Н., Булнаев К.Б., Очиров Ц.О., Турунхаев В.И., Цырендоржиев Ц.Ц.** Тектонические разломы Забайкалья. Новосибирск, Наука, 1978, 111 с.

**Гилева Н.А., Мельникова В.И., Радзиминович Н.А., Девершер Ж.** Локализация землетрясений и средние характеристики земной коры в некоторых районах Прибайкалья // Геология и геофизика, 2000, т. 41 (5), с. 629—636.

**Голенецкий С.И.** Землетрясение 05.09.1993 г. как показатель сейсмического потенциала юго-западной части Витимского плоскогорья в Забайкалье // Докл. РАН, 1998, т. 363, № 4, с. 544—548.

**Голенецкий С.И., Борисова О.А.** Сейсмические проявления в Забайкалье по наблюдениям региональной сети сейсмических станций // Геологическая среда и сейсмический процесс. Материалы Всероссийской межрегиональной конференции, Иркутск, 2—5 сентября 1997 г. Иркутск, ИЗК СО РАН, 1997, с. 83—85.

**Карта** разломов юга Восточной Сибири. М-б 1:1 500 000 / Ред. П.М. Хренов. Л., ВСЕГЕИ, 1988.

**Комплект** карт сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97. М-б 1:8 000 000 / Под ред. В.Н. Страхова, В.И. Уломова. М., Изд-во ОИФЗ РАН, 1999.

**Лухнев А.В., Саньков В.А., Мирошниченко А.И., Ашурков С.В., Кале Э.** Вращения и деформации земной поверхности в Байкало-Монгольском регионе по данным GPS-измерений // Геология и геофизика, 2010, т. 51 (7), с. 1006—1017.

**Мельникова В.И.** Деформационные параметры земной коры Байкальской рифтовой зоны по сейсмологическим данным: Автореф. дис. ... д.г.-м.н. Иркутск, ИЗК СО РАН, 2008, 37 с.

**Мельникова В.И., Гилева Н.А., Курушин Р.А., Масальский О.К., Шлаевская Н.С.** Выделение условных районов для ежегодных обзоров сейсмичности региона Прибайкалья и Забайкалья // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. Обнинск, ГС РАН, 2003, с. 107—117.

**Мельникова В.И., Гилева Н.А., Радзиминович Н.А., Масальский О.К., Чечельницкий В.В.** Сейсмичность Байкальской рифтовой зоны за период цифровой регистрации землетрясений (2001—2006 гг.) // Вопросы инженерной сейсмологии, 2009, т. 36, № 1, с. 40—55.

**Мельникова В.И., Радзиминович Я.Б., Гилева Н.А., Радзиминович Н.А., Папкина А.А.** Байкальское землетрясение 6 января 2006 г.: отражение современной тектонической активности Восточного Забайкалья // Докл. РАН, 2011, т. 437, № 6, с. 828—832.

**Мишарина Л.А., Пшенников К.В., Букина К.И., Востокова А.Я., Горелик З.Л., Кольцова М.С., Новомейская Ф.В., Перевалова Г.И., Садномова В.С., Успенская Т.А., Фомина Е.В.** Землетрясения Байкала // Землетрясения в СССР в 1965 году. М., Наука, 1967, с. 100—118.

**Мушкетов И.В., Орлов А.П.** Каталог землетрясений Российской империи. Т. 26. СПб., Типография Императорской АН, 1893, 582 с.

**Новый каталог** сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / Под ред. Н.В. Кондорской, Н.В. Шебалина. М., Наука, 1977, 535 с.

**Орлов А.П.** О землетрясениях вообще и землетрясениях Южной Сибири и Туркестанской области в особенности. Вып. 1 // Труды Общества естествоиспытателей при Императорском Казанском университете. Казань, Лито- и типография К.А. Тилли, 1872, т. 3, № 1, 78 с.

**Попов В.В.** Каталог землетрясений на территории СССР (с 1908 по 1936 г. включительно). Вып. 2. Сибирь. М., Л., Изд-во АН СССР, 1939, 40 с. (Тр. Сейсмологического института АН СССР, № 89 (2)).

**Радзиминович Н.А.** Сейсмичность Забайкалья // Строение литосферы и геодинамика. Материалы XXII Всероссийской молодежной конференции, Иркутск, 24—29 апреля 2007 г. Иркутск, ИЗК СО РАН, 2007, с. 49—50.

**Радзиминович Я.Б., Щетников А.А.** Новые данные о сейсмичности Восточного Забайкалья в историческом прошлом // Докл. РАН, 2009, т. 426, № 6, с. 809—812.

**Радзиминович Я.Б., Щетников А.А.** Историческая сейсмичность Восточного Забайкалья // Вулканонология и сейсмология, 2010, № 6, с. 65—78.

**Сейсмическое районирование** Восточной Сибири и его геолого-геофизические основы / Ред. В.П. Солоненко. Новосибирск, Наука, 1977, 303 с.

**Семинский К.Ж., Радзиминович Я.Б.** Поперечные размеры и латеральная зональность Байкальского сейсмического пояса // Докл. РАН, 2011, т. 438, № 1, с. 114—117.

**Чипизубов А.В.** Сильные землетрясения Прибайкалья по макросейсмическим данным // Вопросы инженерной сейсмологии, 2009, т. 36, № 2, с. 31—46.

**Шебалин Н.В.** Количественная макросейсмика (фрагменты незавершенной монографии) // Вычислительная сейсмология. Вып. 34. М., ГЕОС, 2003, с. 57—200.

**Barth A., Wenzel F.** New constraints on the intraplate stress field of the Amurian plate deduced from light earthquake focal mechanisms // Tectonophysics, 2010, v. 482, № 1—4, p. 160—169.

**Calais E., Dong L., Wang M., Shen Z., Vergnolle M.** Continental deformation in Asia from a combined GPS solution // Geophys. Res. Lett., 2006, v. 33, L24319, doi:10.1029/2006GL028433.

**Dziewonski A.M., Anderson D.L.** Preliminary Reference Earth Model // Phys. Earth Planet. Inter, 1981, v. 25, p. 297—356.

**Henry C., Woodhouse J.H., Das S.** Stability of earthquake moment tensor inversion: effect of the double-couple constraint // Tectonophysics, 2002, v. 356, p. 115—124.

**International Seismological Centre**, on-line bulletin, <http://www.isc.ac.uk>, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2011.

**Jin S., Park P.-H., Zhu W.** Micro-plate tectonics and kinematics in Northeast Asia inferred from a dense set of GPS observations // Earth Planet. Sci. Lett., 2007, v. 257, № 3—4, p. 486—496, doi: 10.1016/j.epsl.2007.03.011.

**Lasserre C., Bukchin B., Bernard P., Tapponier P., Gaudemer Y., Mostinsky A., Dailu R.** Source parameters and tectonic origin of the 1996 June 1 Tianzhu ( $M_w = 5.2$ ) and 1995 July 21 Yongen ( $M_w = 5.6$ ) earthquakes near the Haiyuan fault (Gansu, China) // Geophys. J. Inter., 2001, v. 144, № 1, p. 206—220.

**Levshin A.L., Pisarenko V.F., Pogrebensky G.A.** On a frequency-time analysis of oscillations // Ann. Geophys., 1972, v. 28, p. 211—218.

**Mendiguren J.A.** Inversion of surface wave data in source mechanism studies // J. Geophys. Res., 1977, v. 82, № 5, p. 889—894.

**Nataf H.-C., Ricard Y.** 3SMAC: on a priori tomographic model of the upper mantle based on geophysical modeling // *Phys. Earth Planet. Inter.*, 1996, v. 95, p. 101—122.

**Petit C., Fournier M.** Present-day velocity and stress fields of the Amurian Plate from thin-shell finite-element modelling // *Geophys. J. Inter.*, 2005, v. 160, № 1, p. 357—369, doi:10.1111/j.1365—246X.2004.02486. x.

**Rautian T.G., Khalturin V.I., Fujita K., Mackey K.G., Kendall A.D.** Origins and methodology of the Russian Energy K-Class System and its relationship to magnitude scales // *Seismol. Res. Lett.*, 2007, v. 78, № 6, p. 579—590, doi:10.1785/gssrl.78.6.579.

**Russel D.W., Herrman R.B., Hwang H.** Application of a frequency-variable filters to surface wave amplitude analysis // *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 1988, v. 78, № 1, p. 339—354.

*Рекомендована к печати 15 декабря 2011 г.  
В.С. Селезевым*

*Поступила в редакцию  
6 июня 2011 г.*