

ВЕРХНЕБАРГУЗИНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 10 июня 2009 г.**с $K_p=13.2$, $M_w=4.8$, $I_0=6-7$ (Северный Байкал)****Н.А. Гилёва¹, А.И. Середкина², В.И. Мельникова², Я.Б. Радзиминович²**¹Байкальский филиал ГС СО РАН, г. Иркутск, nagileva@crust.irk.ru²Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, vimel@crust.irk.ru

Наиболее сильным сейсмическим событием в 2009 г. в регионе Прибайкалья и Забайкалья стало Верхнебаргузинское землетрясение 10 июня в 18^h51^m с $K_p=13.2$, $M_w=4.8$ (рис. 1), локализованное на юго-восточных склонах Баргузинского хребта (Северное Прибайкалье). Это землетрясение практически не сопровождалось афтершоками: за период с 10–13 июня в его эпицентральной зоне произошло лишь шесть слабых ($K_p < 6.6$) толчков.

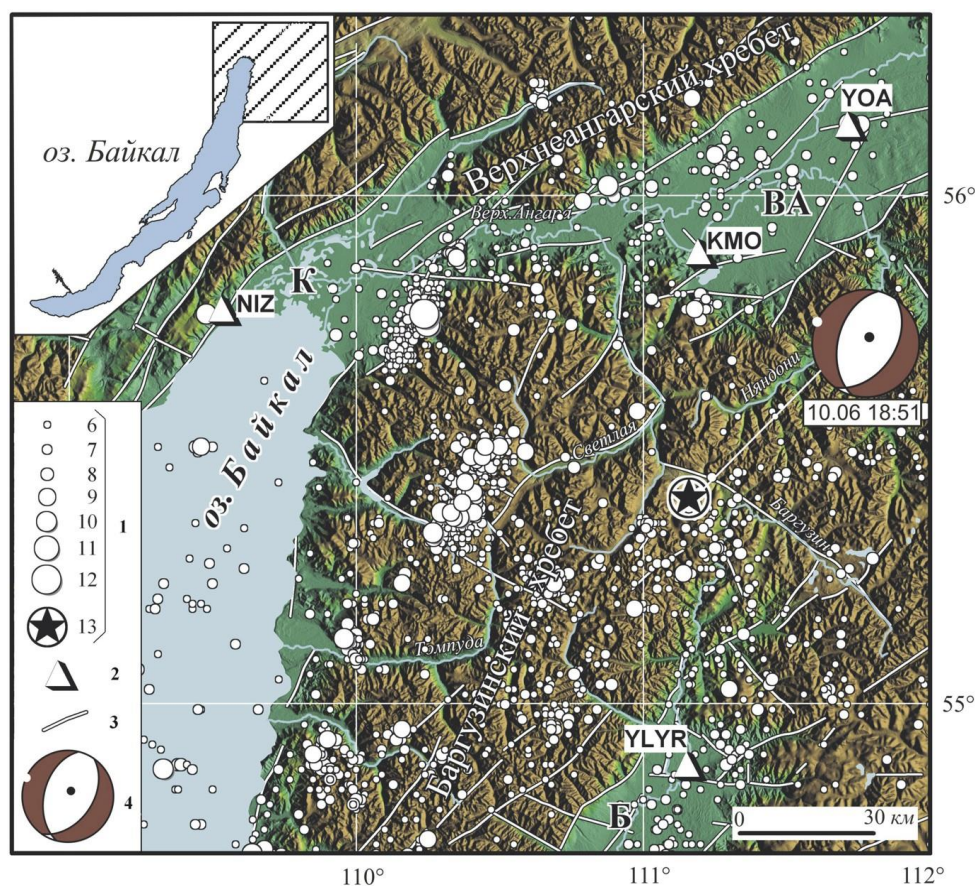


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Северного Прибайкалья за 2009 г.

1 – энергетический класс K_p ; 2 – сейсмическая станция; 3 – разлом, активный в кайнозое по [1]; 4 – стереограмма механизма очага землетрясения в проекции нижней полусферы (дата: число, месяц, час, минута) [2]; на врезке показан район исследования; буквами на карте обозначены впадины рифтового типа: К – Кичерская, ВА – Верхнеангарская, Б – Баргузинская.

Локализация эпицентра Верхнебаргузинского землетрясения 10 июня в Байкальском филиале ГС СО РАН была выполнена по данным 28 региональных станций (рис. 2 а), при этом четыре станции принадлежат Якутскому филиалу ГС СО РАН. Ближайшей к эпицентру была станция «Кумора» ($\Delta=53$ км). Пять станций располагались на расстоянии менее 200 км, а максимальное эпицентримальное расстояние составило 863 км (до станции «Чульман»).

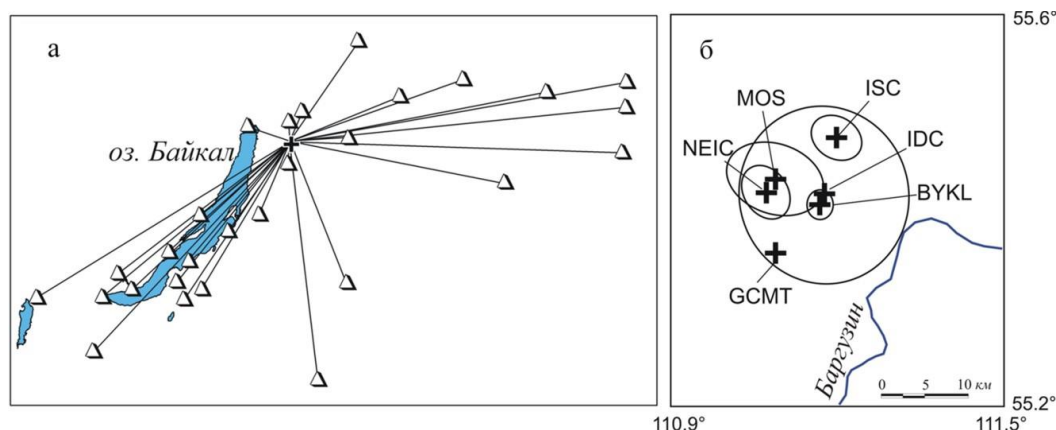


Рис. 2. Пространственное положение эпицентра Верхнебаргузинского землетрясения 10 июня 2009 г.

а – местоположение эпицентра относительно региональных сейсмических станций, данные которых использовались при обработке материалов наблюдений; б – решения эпицентра главного толчка и эллипсы горизонтальных ошибок по данным разных агентств.

Основные параметры главного толчка по материалам различных сейсмологических агентств представлены в табл. 1, из которой следует, что решения всех агентств для этого землетрясения неплохо согласуются между собой. Разброс в местоположении эпицентра не превышает 15 км (рис. 2 б), при этом наименьшие ошибки локализации, равные 2–3 км (табл. 1), получены в решении ВУКЛ [3].

Таблица 1. Основные параметры Верхнебаргузинского землетрясения 10 июня 2009 г. по данным различных сейсмологических агентств

Агент-ство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источ-ник
			φ° , N	$\delta\varphi^\circ$	λ° , E	$\delta\lambda^\circ$	h , км	δh , км		
ВУКЛ	18 51 59.10	0.20	55.41	0.02	111.16	0.03	22 20**	12	$K_p=(13.2\pm 0.2)/24$, $M_w=4.8$	[2, 3]
MOS	18 51 56.90	0.94	55.44	0.04	111.08	0.08	16		$M_S=4.4/41$, $M_{PSP}=5.0/95$	[4]
IDC	18 51 55.99	0.36	55.42	0.08	111.17	0.12	0f		$m_b=4.6/37$, $M_S=4.2/38$	[5]
NEIC	18 51 57.90	0.12	55.42	0.03	111.06	0.03	10f		$m_b=5.0/112$	[5]
GCMT	18 51 59.80	0.30	55.36	0.0	111.08	0.0	30.5	0.8	$M_w=4.8$	[5]
ISC	18 51 58.99	0.33	55.48	0.02	111.19	0.04	17.2 17.0*	1.9	$M_S=4.3/70$, $m_b=4.9/232$	[5]

Примечание. * – h по фазе pP , ** – h по инверсии тензора сейсмического момента; расшифровка кодов агентств дана в обозначениях к наст. сб.

Очаговые параметры землетрясения 10 июня 2009 г. были определены по амплитудным спектрам поверхностных волн с привлечением дополнительной информации о знаках первых вступлений объемных волн на региональных станциях [6–8]. Спектры основной моды волн Рэ-ля и Лява были получены для каждой трассы «эпицентр-станция» с помощью метода спектрально-временного анализа [9] в диапазоне периодов колебаний 30–60 с. Всего для инверсии тензора сейсмического момента были отобраны записи 11 станций, расположенных в разных азимутах от эпицентра (рис. 3 а). Диапазон эпицентральных расстояний составил 2115–5412 км. Строение земной коры под сейсмическими станциями задавалось моделью 3SMAC [10], в окрестности очага землетрясения – моделью CRUST 2.0 [11]. Для описания верхней мантии и расчета затухания поверхностных волн использовалась сферически симметричная модель PREM [12]. Оценка качества полученного решения производилась с помощью функции нормированной невязки (ϵ) [7].

Решение механизма очага показало сбросовые смещения по плоскостям разрывов с параметрами: $NP1$: $STK=35^\circ$, $DP=45^\circ$, $SLIP=-75^\circ$; $NP2$: $STK=194^\circ$, $DP=47^\circ$, $SLIP=-105^\circ$ (рис. 3 б). Глубина гипоцентра составила $h=20$ км (рис. 3 в), скалярный сейсмический момент $M_0=0.15 \cdot 10^{17}$ Н·м, моментная магнитуда $M_w=4.8$ и значение функции нормированной невязки $\epsilon=0.227$.

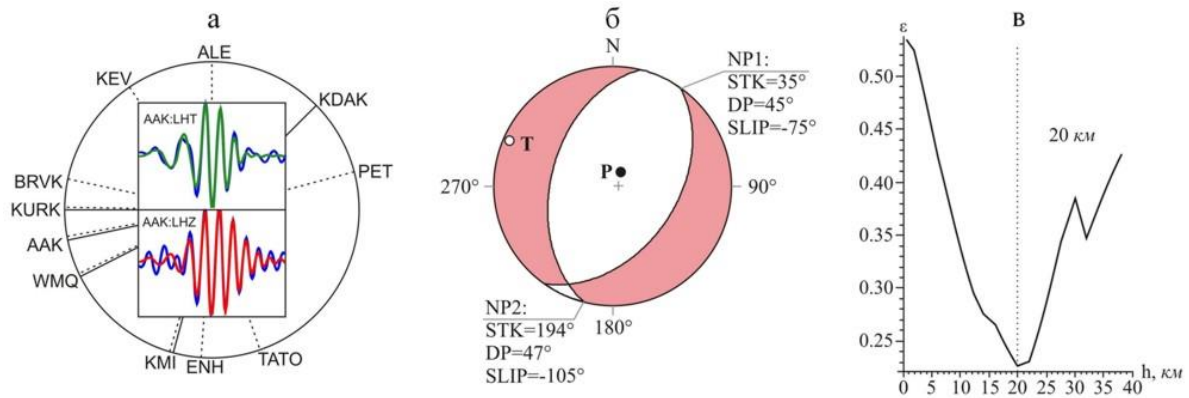


Рис. 3. Азимутальное распределение сейсмических станций, используемых для расчета очаговых параметров (а) и механизм очага землетрясения 10 июня 2009 г. в проекции нижней полусферы (б), а также зависимость функции нормированной невязки от глубины очага землетрясения (в)

Коды сейсмических станций соответствуют международному стандарту.

История сейсмических наблюдений в районе Северного Прибайкалья свидетельствует о наличии в земной коре мелкомасштабных блоков, создающих многочисленные зоны концентрации напряжений и способствующих развитию групп слабых сейсмических событий (роев и землетрясений с афтершоками) [13–15]. Относительно сильные землетрясения здесь редки, при этом наиболее значительные ($M \geq 5.0$) из них, как правило, приурочены к рифтовым впадинам [13]. В связи с этим Верхнебаргузинское землетрясение представляет особый интерес. Рассматривая местоположение его эпицентра, можно убедиться в том, что он приурочен к сейсмоактивному блоку, ограниченному разноориентированными разломами, скорее всего невысокого ранга (рис. 1). Этот блок входит в полосу повышенной концентрации эпицентров северо-восточного простирания, которая хорошо проявляется на карте эпицентров, построенной за период многолетних сейсмологических наблюдений [16]. Такое же простирание плоскостей разрывов наблюдается и в очаге Верхнебаргузинского землетрясения, сбросовый (рифтовый) механизм которого отражает активное влияние процессов рифтогенеза на юго-восточные склоны Баргузинского хребта.

Макросейсмические данные. Эпицентр Верхнебаргузинского землетрясения 10 июня 2009 г. расположен в горной ненаселенной местности. Населенные пункты в районе северной оконечности оз. Байкал немногочисленны; численность населения также невелика. Минимальное эпицентральное расстояние, на котором были зафиксированы ощутимые сотрясения, составило 53 км. В связи с этим обстоятельством собранные макросейсмические данные нельзя назвать обильными. Информация о макросейсмических проявлениях землетрясения 10 июня 2009 г. была получена в основном посредством почтовой рассылки опросных листов в населенные пункты Северного Прибайкалья. Кроме этого, данные поступили также от сотрудников сейсмических станций региональной сети. Сведения о наиболее сильных макросейсмических эффектах с $I=4$ балла приведены ниже.

Пос. Кумора. Землетрясение ощущалось многими жителями поселка в виде сильного толчка; спавшие проснулись. По данным опроса, проведенного администрацией поселка, макросейсмические эффекты сводятся к дребезжанию посуды и оконных стекол, а также заметному колебанию висячих предметов.

Пгт Кичера. Землетрясение ощущалось людьми, находившимися в состоянии покоя в помещениях на первых и вторых этажах деревянных и кирпичных домов. Спавшие проснулись, ощущались колебания. В зданиях скрипели полы и потолки, был слышен треск, звенела посуда, дребезжали оконные стекла, колебались висячие предметы (люстры). При землетрясении был слышен подземный гул.

Улус Аргада. Землетрясение было замечено людьми, находившимися в состоянии покоя в деревянных домах. Спавшие проснулись. Дребезжала посуда, стекла окон, колебались висячие предметы. Продолжительность землетрясения очевидцами оценивается в 3–5 секунд.

Оценки макросейсмической интенсивности для всех населенных пунктов, из которых получены сведения, даны на рис. 4 и в табл. 2. Как видно из рис. 4, ощутимые сотрясения распространялись главным образом в южном и западном направлении от эпицентра. В северных и во-

сточных румбах колебания довольно быстро затухали. В пределах Баргузинской впадины можно отметить пестроту в распределении макросейсмических эффектов: землетрясение ощущалось здесь с интенсивностью $I=3-4$ балла, однако в некоторых пунктах, расположенных на сопоставимых эпицентральных расстояниях, сотрясения замечены не были. Отчасти это можно объяснить влиянием локальных инженерно-геологических условий. Тем не менее основной причиной является, по-видимому, несовершенство системы сбора макросейсмических данных. В целом картина распределения макросейсмических эффектов Верхнебаргузинского землетрясения схожа с таковой при несколько более сильном Томпудинском землетрясении 4 июля 2007 г. с $M_w=5.4$ [15], произошедшем приблизительно в этом же районе.

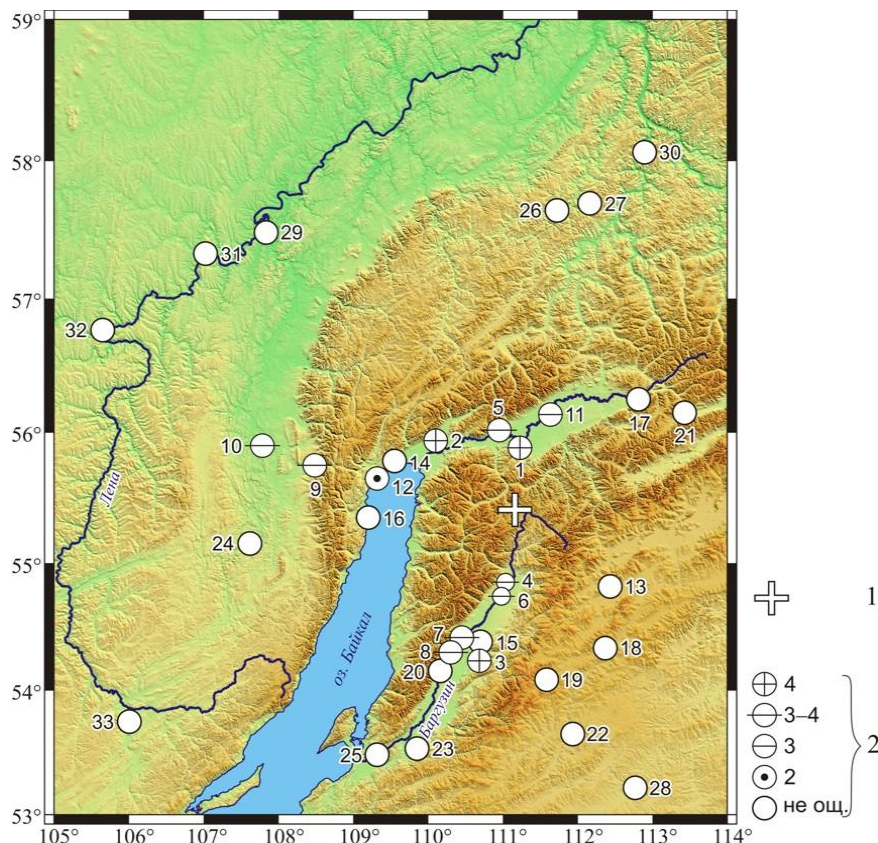


Рис. 4. Карта пунктов-баллов Верхнебаргузинского землетрясения 10 июня 2009 г.

1 – инструментальный эпицентр; 2 – интенсивность сотрясений в баллах шкалы MSK-64; номера пунктов соответствуют таковым в табл. 2.

Таблица 2. Макросейсмические данные о Верхнебаргузинском землетрясении

№	Пункт	Δ, км	№	Пункт	Δ, км
	<u>4 балла</u>			<u>3 балла</u>	
1	пос. Кумора	53	11	пос. Уоян	86
2	пгт Кичера	89, гул		<u>2 балла</u>	
3	улус Аргада	134	12	г. Северобайкальск	119
	<u>3-4 балла</u>			<u>Не ощущалось</u>	
4	улус Улюнхан	63	13	пос. Окунево	104
5	пос. Ангоя	69	14	пгт Нижнеангарск	109
6	Кучигер	75	15	улус Арзгун	118
7	с. Могойто	119	16	с. Байкальское	124
8	с. Курумкан	135	17	пгт Янчукан	139
9	пгт Кунерма	172	18	пос. Варваринский	142
10	пгт Улькан	218	19	пос. Суваниха	150

№	Пункт	Δ , км	№	Пункт	Δ , км
20	у. Барагхан	153	27	пгт Согдиондон	261
21	пгт Северомуйск	163	28	с. Романовка	265
22	пос. Усть-Джиллинда	202	29	с. Макарово	307
23	с. Уро	225	30	пгт Луговский	313
24	с. Карам	226	31	пос. Верхнемарково	332
25	с. Адамово	245	32	г. Усть-Кут	373
26	пгт Горно-Чуйский	250	33	с. Харбатово	379

Рассматривая сильные движения при Верхнебаргузинском землетрясении, можно отметить, что наибольшие ускорения грунта ($A_{\max}=14.3 \text{ см/с}^2$) были зарегистрированы на сейсмической станции «Улюнхан» (рис. 5). Как следует из шкалы ММСК-92 [17], это значение соответствует интенсивности сотрясений $I=5$ баллов. Реально наблюдавшиеся в улусе Улюнхан эффекты оцениваются в 3–4 балла. Сейсмическая станция «Улюнхан» расположена от эпицентра на немного большем расстоянии, чем станция «Кумора» (ближайшая к эпицентру), однако на последней максимальное значение ускорений составило лишь 2.1 см/с^2 (3 балла по шкале ММСК-92, 4 балла – реально наблюдаемое значение). Повышенное значение ускорений на станции «Улюнхан», по сравнению с более близкими к эпицентру станциями, наблюдалось также при Томпудинском землетрясении 4 июля 2007 г. [15]. Возможно, этот эффект объясняется характером направленности излучения из очага, присущим землетрясениям этого района Прибайкалья.

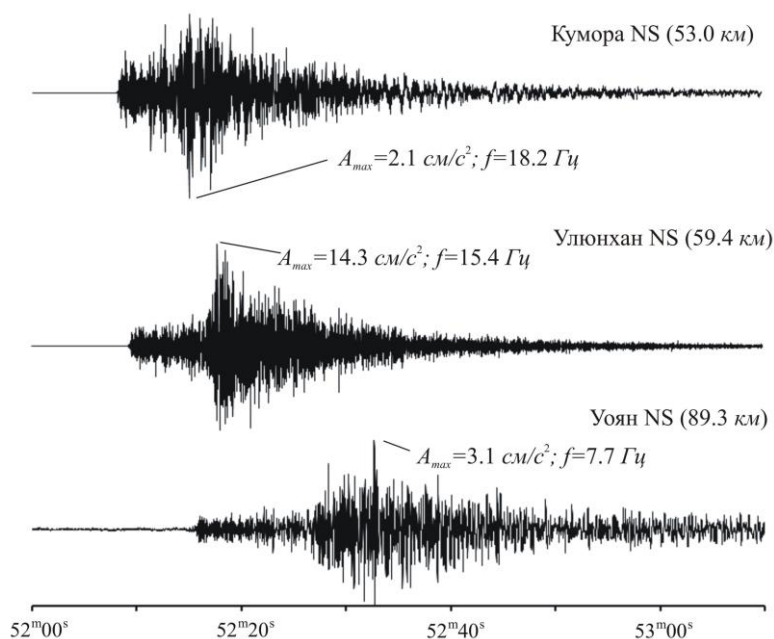


Рис. 5. Акселерограммы Верхнебаргузинского землетрясения 10 июня 2009 г., полученные на ближайших ($\Delta < 90 \text{ км}$) к эпицентру сейсмических станциях Байкальского филиала ГС СО РАН

В заключение отметим, что результаты изучения каждого крупного Прибайкальского землетрясения вносят важный вклад в понимание их природы и способствуют уточнению оценок сейсмической опасности исследуемой территории.

Л и т е р а т у р а

1. Лунина О.В., Гладков А.С., Шерстянкин П.П. Новая электронная карта активных разломов юга Восточной Сибири // ДАН. – 2010. – 433. – № 5. – С. 662–667.
2. Мельникова В.И., Гилёва Н.А. (отв. сост.), Ландер А.В., Середкина А.И., Татомир Н.В. (сост.). Каталог механизмов очагов землетрясений Прибайкалья и Забайкалья за 2009 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).

3. Хайдурова Е.В., Гилёва Н.А. (отв. сост.), Леонтьева Л.Р., Анисимова Л.В., Дреннова Г.Ф., Меньшикова Ю.А., Хамидулина О.А., Курилко Г.В., Хороших М.Б., Дрокова Г.Ф., Тигунцева Г.В., Андрусенко Н.А., Дворникова В.И., Павлова Л.В., Мазаник Е.В., Зиброва Е.С., Папкина А.А., Терёшина Е.Н., Борисова О.А., Торбеева М.В. (сост.). Каталог землетрясений Прибайкалья и Забайкалья за 2009 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
4. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2009 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2009–2010. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2009.
5. International Seismological Centre. On-Line Bulletin // International Seismological Centre [сайт]. [2012]. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.
6. Букчин Б.Г. Особенности излучения поверхностных волн мелкофокусным источником // Физика Земли. – 2006. – № 8. – С. 88–93.
7. Lasserre C., Bukchin B., Bernard P., Tapponnier P., Gaudemer Y., Mostinsky A., Dailu R. Source parameters and tectonic origin of the 1996 June Tianzhu ($M_w=5.2$) and 1995 July 1 Yongen ($M_w=5.6$) earthquakes near the Haiyuan fault (Gansu, China) // Geophys. J. Int. – 2001. – **144**. – № 1. – P. 206–220.
8. Середкина А.И., Мельникова В.И. Тензор сейсмического момента землетрясений Прибайкалья по амплитудным спектрам поверхностных волн // Физика Земли. – 2014. – № 3. – С. 103–114.
9. Левшин А.Л., Яновская Т.Б., Ландер А.В. и др. Поверхностные сейсмические волны в горизонтально-неоднородной Земле. – М.: Наука, 1986. – 278 с.
10. Nataf H.C., Ricard Y. 3SMAC: on a priori tomographic model of the upper mantle based on geophysical modeling // Phys. Earth Planet. Inter. – 1996. – **95**. – P. 01–122.
11. Bassin C., Laske G., Masters G. The current limits of resolution for surface wave tomography in North America // EOS Trans AGU. – 2000. – **81**. – F897.
12. Dziewonski A.M., Anderson D.L. Preliminary Reference Earth Model // Phys. Earth Planet. Inter. – 1981. – **25**. – P. 297–356.
13. Мельникова В.И., Радзиминович Н.А., Гилёва Н.А., Чипизубов А.В., Добрынина А.А. Активизация рифтовых процессов в Северном Прибайкалье (на примере Кичерской последовательности землетрясений 1999 г.) // Физика Земли. – 2007. – № 11. – С. 1–24.
14. Гилёва Н.А., Мельникова В.И., Радзиминович Я.Б., Очковская М.Г., Серёдкина А.И. Акуликанские землетрясения 4 декабря 2006 г. с $M_w=5.2$, $I_0=7$ и 11 декабря 2006 г. с $M_w=4.9$, $I_0=7$ (Прибайкалье) // Землетрясения Северной Евразии, 2006 год. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 428–442.
15. Гилёва Н.А., Мельникова В.И., Радзиминович Я.Б. Томпудинское землетрясение 4 июля 2007 г. с $K_p=14.2$, $M_w=5.4$, $I_0=7-8$ (Северное Прибайкалье) // Землетрясения Северной Евразии, 2007 год. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 362–372.
16. Мельникова В.И., Гилёва 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. – **36**. – № 1. – С. 40–55.
17. Шебалин Н.В., Аптикаев Ф.Ф. Развитие шкал типа MSK // Магнитное поле Земли: математические методы описания. Проблемы макросейсмологии. (Вычислительная сейсмология; Вып. 34.). – М.: Геос, 2003. – С. 210–253.