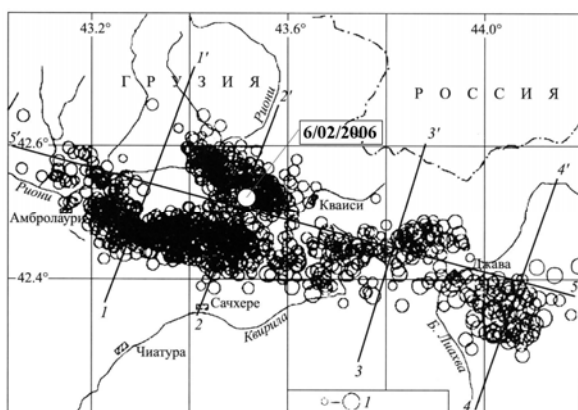


**ОНИЙСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 6 февраля 2006 г. с  $MS=5.0$ ,  $I_0^P=6$  (Грузия)**

**И.П. Габсатарова, Л.В. Головкова, Е.А. Селиванова**

Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, [ira@gsras.ru](mailto:ira@gsras.ru)

Онийское землетрясение произошло 6 февраля 2006 г. в 04<sup>h</sup>08<sup>m</sup> на южном склоне Большого Кавказа, в районе Рачи, в средней части р. Риони на севере Грузии, примерно в 6 км от Они. Положение основного толчка и афтершоков совпадает с северной ветвью сложной очаговой зоны Рачинского землетрясения 29.04.1991 г. с  $MS=7.0$ ,  $I_0=7-8$  [1-3], одного из сильнейших землетрясений XX в. на Кавказе (рис. 1). Все последующие годы этот район оставался высокосейсмичным, хотя сильных ( $MS \geq 5$ ) событий после 1991 г. в этом районе не происходило.

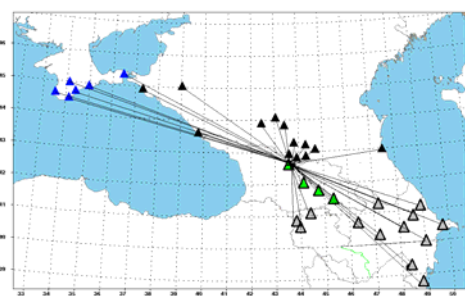


**Рис. 1.** Онийское землетрясение 6 февраля 2006 г. (белый круг) на фоне карты из [1-3] эпицентров афтершоков с  $K_p=7-12$  Рачинского землетрясения 29.04.1991 г. с  $MS=7.0$ ,  $I_0=7-8$

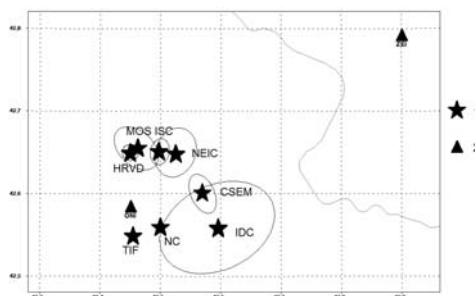
Эпицентр Онийского землетрясения расположен в пределах границ ответственности (на расстоянии  $\leq 30$  км от государственной границы России) регионального каталога Северного Кавказа. Основной толчок и многочисленные его афтершоки были зарегистрированы наиболее близкой к очагу сетью Северо-Осетинского филиала и другими станциями ГС РАН. Для уточнения параметров основного толчка и наиболее значительных афтершоков использовались времена вступлений на станциях национальной сети Грузии, опубликованные к моменту написания статьи на сайте Международного сейсмологического центра ISC [4]. Это позволило более уверенно определить координаты эпицентров и глубины очагов основного толчка и афтершоков. В частности, при определении параметров гипоцентра основного толчка использовались данные 43 сейсмических станций, ближайшая из которых – «Они» – находится на расстоянии  $\Delta=6$  км, наиболее удаленные – «Сторожевое», «Дивногорье», «Воронеж» – на  $\Delta \approx 1000$  км (рис. 2).

Онийское землетрясение 06.02.2006 г. зарегистрировано также многими зарубежными сейсмическими сетями, его параметры получены различными агентствами (табл. 1, рис. 3). Разброс их решений не превышает 15 км, наиболее близки ( $\delta=4$  км) эпицентры Грузии (TIF) и Северного Кавказа (NC). Эти же решения наиболее близки к населенному пункту Они.

Онийское землетрясение 06.02.2006 г. зарегистрировано также многими зарубежными сейсмическими сетями, его параметры получены различными агентствами (табл. 1, рис. 3). Разброс их решений не превышает 15 км, наиболее близки ( $\delta=4$  км) эпицентры Грузии (TIF) и Северного Кавказа (NC). Эти же решения наиболее близки к населенному пункту Они.



**Рис. 2.** Положение региональных станций, участвующих в определении координат гипоцентра Онийского землетрясения 6 февраля 2006 г. в 04<sup>h</sup>08<sup>m</sup>



**Рис. 3.** Положение эпицентра основного толчка Онийского землетрясения 6 февраля 2006 г. по данным различных центров

1 – решение эпицентра; 2 – станция «Они».

**Таблица 1.** Основные параметры Онийского землетрясения 6 февраля 2006 г. с  $M_S=5.0$  по данным Северного Кавказа (NC) в сопоставлении с определениями других агентств

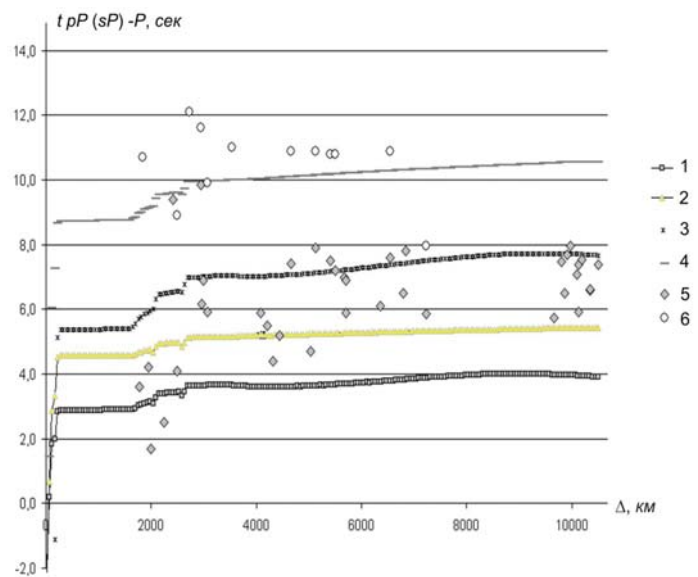
Агентство	$t_0$ , ч мин с	$\delta t_0$ , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источ- ник
			$\varphi^\circ$ , N	$\delta\varphi^\circ$	$\lambda^\circ$ , E	$\delta\lambda^\circ$	$h$ , км	$\delta h$ , км		
NC	04 08 01.1	0.71	42.56	0.03	43.50	0.03	12		$MPVA=5.9/8, K_p=12.3/14, I_0^p=5.5$	[5]
TIF	04 08 01.3	1.0	42.55		43.45		10	1	$ML=5.1/4$	[4]
MOS	04 08 00.7	1.14	42.65	0.03	43.45	0.03	11		$M_S=4.9/27, MPSP=5.3/78$	[4]
ISC	04 08 04.0	0.1	42.65	0.01	43.50	0.01	24f 24*	0.7*	$M_S=5.0/50, m_b=5.0/186, h_{pP}=24\pm 0.7$	[4]
NEIC	04 08 03.1	1.3	42.65	0.05	43.53	0.03	17	8	$M_S=4.6/4, m_b=5.2/110$	[4]
HRVD	04 08 03.1	0.2	42.65		43.45		14		$M_W=5.3/94$	[4]
REB IDC	04 07 59.8	0.3	42.56	0.07	43.59	0.05	0f		$M_S=4.8/25, m_b=4.7/37, ML=4.5/4$	[4]
CSEM	04 07 59.7		42.60		43.57		10f		$m_b=5.0$	[4]

Примечание. MOS – Информационно-обрабатывающий центр ГС РАН, сейсмологический бюллетень; IDC – Международный центр данных Организации Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (СТВТО), Австрия, Вена; NEIC – Национальный центр данных о землетрясениях Геологической службы США; ISC – Международный сейсмологический центр, Великобритания; CSEM – Европейский Средиземноморский сейсмологический центр, Страсбург, Франция; HRVD – Гарвардский центр (США).

**Глубина гипоцентра** по данным пяти центров (NC, TIF, MOS, HRVD, CSEM) определена в интервале  $h=10-14$  км, два центра имеют несколько заглубленное решение:  $h=17.7\pm 8$  км (NEIC),  $h=24\pm 1$  км (ISC). Значение  $h$  в решении ISC определено по разности прихода глубинных фаз  $pP$  и  $sP$  и первого вступления  $P$ -волны на записях 41 станции, но т.к. такая глубина не увязывалась со временем регистрации сейсмических фаз на региональных расстояниях (ближайшая станция «Они» с  $\Delta=6$  км), то предпринято дополнительное исследование. Наблюдаемые разности прихода первой продольной волны и ее глубинных волн-спутников  $pP$  и  $sP$  нанесены на графики теоретических значений подобных разностей (рис. 4), рассчитанных по годографу АК135 [6], применяемому при локации в Международном центре ISC. Как видим, график иллюстрирует возможную неоднозначность интерпретации выделенных на станциях глубинных фаз, например, значительная часть фаз, интерпретируемых как  $pP$ , более тяготеют к линии разности  $sP-P$  при  $h=12$  км.

Как видно из рис. 4, глубинные фазы  $pP$  и  $sP$ , представленные в ISC для этого землетрясения, имеют значительный разброс. Если предположить, что часть фаз  $pP$  может быть правильно интерпретирована как  $sP$ , которая для коровых глубин выделяется на сейсмограммах увереннее [7], то можно привязать их к глубинам  $h=14-15$  км.

Волновая картина отдельных станций показывает на сложный характер записи  $P$ -волн, неоднозначность интерпретации сейсмических фаз, а также возможность выделения глубинной фазы  $sP$  через 4–5<sup>с</sup> после вступления  $P$ -волны (рис. 5).



**Рис. 4.** График зависимости разностей времен глубинных фаз  $pP$ ,  $sP$  и  $P$ -волн от расстояния по годографу [6]

1 –  $t_{pP-P}$  для  $h=12$  км; 2 –  $t_{sP-P}$  для  $h=12$  км; 3 –  $t_{pP-P}$  для  $h=24$  км; 4 –  $t_{sP-P}$  для  $h=24$  км; 5, 6 – станционные значения  $t_{pP-P}$  и  $t_{sP-P}$  из [4].

В [8, 9] было показано, что значительная часть афтершоков Рачинского землетрясения 29.04.1991 г. приурочена к зоне раздела между высокоскоростным фундаментом и осадочным чехлом, при этом афтершоки в южной части очаговой области расположены преимущественно в пределах чехла, а в северной части – в фундаменте. Кроме того, вблизи поверхности фундамента в пределах Рача-Лехумского прогиба на глубине около 8 км отмечена полоса относительно пониженных скоростей сейсмических волн, которую можно идентифицировать как приразломную зону. Эти факты также добавляют сомнения в заглубливание очагов землетрясений в феврале 2006 г. до глубин в  $h=24$  км и говорят в пользу полученной инструментально глубины  $h=12$  км.

Часть афтершоков ( $N=114$ ) была локализована при добавлении времен вступления  $P$  и  $S$ -волн ближайшей ( $\Delta=1-7$  км) к очагу станции «Они». По ним получены глубины афтершоков от 1 до 20 км, гистограмма значений глубин показано на рис. 6. Среднее значение глубины составило  $\bar{h}=10\pm 3$  км.

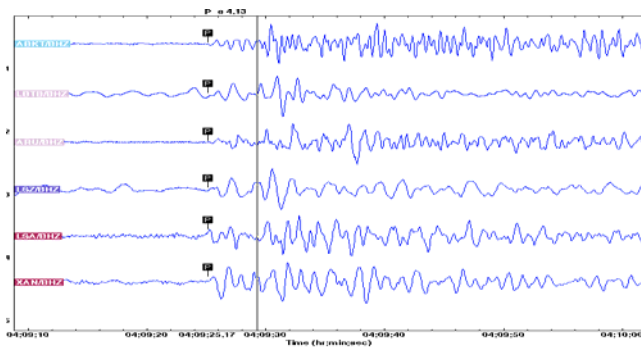


Рис. 5. Фрагменты записей  $P$ -волн на различных станциях: «Алибек»-ABKT, Туркменистан; «Lobatse»-LBTB, Ботсвана; «Арти»-ARU, Россия; «Lusaka»-LSZ, Замбия; «Lhasa»-LSA и «Xi'an» XAN, Китай

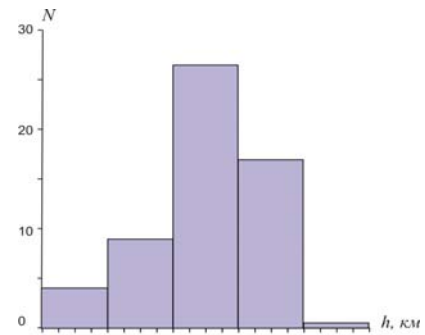


Рис. 6. Гистограмма значений глубин афтершоков с наиболее точно определенными параметрами гипоцентров (с ближайшей станцией «Они»)

Исходя из этих соображений, принято решение, что наиболее вероятная глубина основного толчка  $h=12$  км. В случае отсутствия данных ближайшей станции «Они» локация проводилась при фиксированной глубине  $h=10$  км.

**Афтершоки** Онийского землетрясения зарегистрированы сейсмической сетью Северо-Осетинского филиала ГС РАН в количестве  $N=600$ . Карта их эпицентров дана на рис. 7 на фоне карты эпицентров афтершоков Рачинского землетрясения 29.04.1991 г. из [1–3].

В то же время Грузинская сейсмическая служба передала в ISC сведения всего о 101 афтершоке, показанных на рис. 8 также на фоне карты эпицентров афтершоков Рачинского землетрясения.

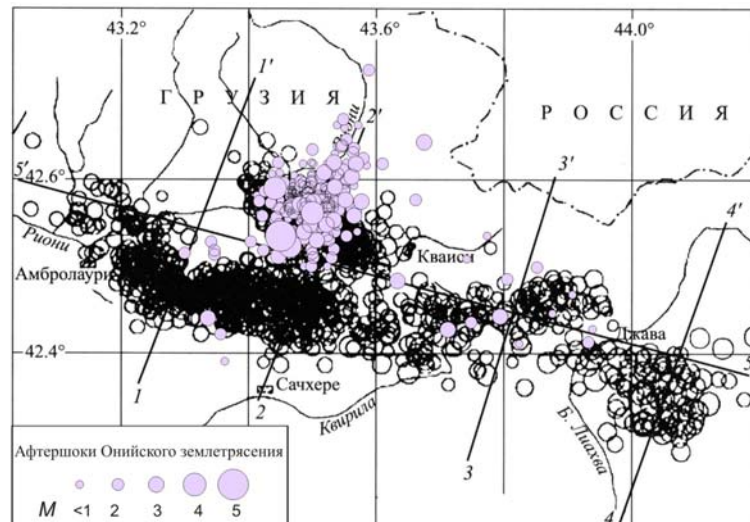


Рис. 7. Афтершоки Онийского землетрясения 06.02.2006 г. по данным ГС РАН [10], наложенные на карту афтершоков Рачинского землетрясения 29.04.1991 г. из [1–2]

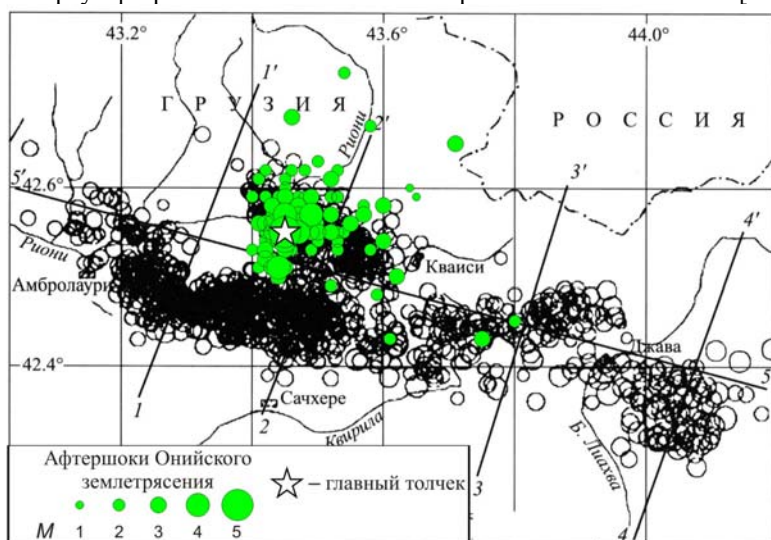


Рис. 8. Афтершоки Онийского землетрясения 06.02.2006 г. по данным Грузинской сейсмической службы [5], наложенные на карту афтершоков Рачинского землетрясения из [1–2]

Для афтершоков Онийского землетрясения 6 февраля 2006 г. построен график повторяемости, наклон которого в диапазоне  $K_p=8-11$  равен  $\gamma=0.58$ . Более слабые ( $K_p=6$  и  $7$ ) землетрясения, как видно на рис. 9, испытывают незначительный дефицит. Если их включить в расчет, то  $\gamma$  становится равным 0.51. Такой наклон подчеркивает характерную для этой зоны высокую «дробность» среды, выявленную в [1] после сильнейшего землетрясения 20.04.1991 г. и серии его афтершоков с  $\gamma=0.66$  (рис. 9).

**Решение механизма очага** Онийского землетрясения 06.02.2006 г. приведено по данным Европейско-Средиземноморского сейсмологического центра (CSEM), Гарвардского центра (HRVD) и Информационно-обрабатывающего центра в Обнинске (OBN). Решение NC получено знакам в  $P$ -волн на 66 станциях (+ на 38, – на 28), расположенных вокруг эпицентра ( $AZM=5-356^\circ$ ) на расстояниях  $\Delta=0.06-108^\circ$ . Применялась методика и программы А.В. Ландера [11, 12].

Диаграммы механизма очага в стереографической проекции в нижней полусфере показаны на рис. 10, а его параметры – в табл. 2. Онийское землетрясение 2006 г. произошло под действием напряжений сжатия, ориентированных в близмеридиональном направлении. По всем трем решениям нодальная плоскость  $NP1$  имеет северо-западное простирание и пологое ( $DP=31, 30, 20^\circ$ ) залегание, а плоскость  $NP2$  – крутая ( $DP=63, 68, 71^\circ$ ) и простирается субширотно. По HRVD, положение нодальных плоскостей подобно решению Средиземноморского центра, однако  $NP2$  менее субширотна, а ее простирание юго-восточное, как и по данным ГС РАН.

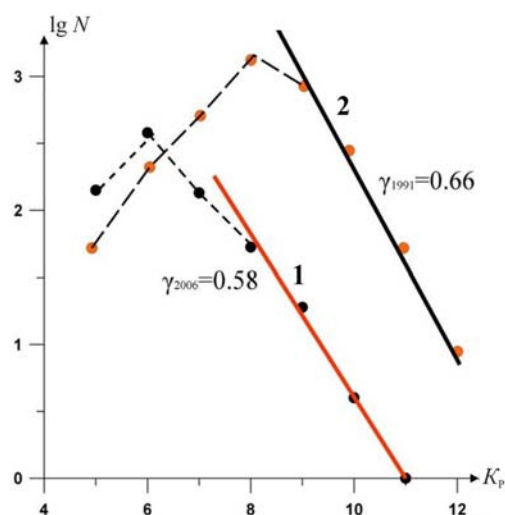


Рис. 9. Графики повторяемости афтершоков землетрясений Онийского 6 февраля 2006 г. (1) и Рачинского 29 апреля 1991 г. (2)



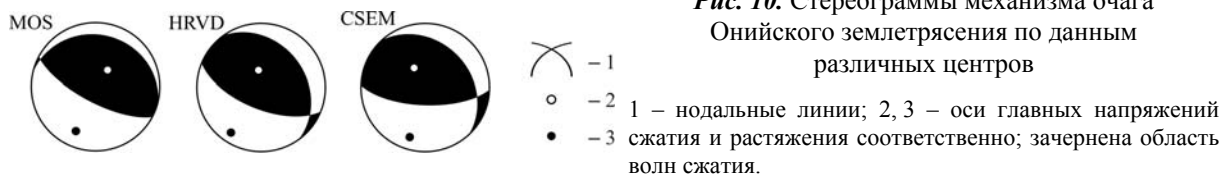


Рис. 10. Стереогаммы механизма очага Онийского землетрясения по данным различных центров

Тип подвижки по пологим плоскостям – надвиг с компонентами сдвига, правостороннего – по HRVD и CSEM, левостороннего – по OBN. Движение по второй плоскости представлено взбросом с компонентами левостороннего и правостороннего сдвига по CSEM, HRVD и OBN соответственно.

Значение сейсмического момента составило  $M_0=6.9 \cdot 10^{16}$  Н·м, а моментной магнитуды –  $M_w=5.2$ .

Таблица 2. Параметры механизма очага Онийского землетрясения 06.02.2006 г. в 04<sup>h</sup>07<sup>m</sup> с  $MS=5.0$

Агентство	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	$h$ , км	Магнитуды		$K_s$	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Источник
							$T$		$N$		$P$		$NP1$			$NP2$			
				MPVA	MS		PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP	
HRVD	06.02	04 08 01.6	9				68	351	14	119	16	214	324	31	118	112	63	74	[4]
CSEM				5.0	5.0	12.3	61	330	20	100	19	197	317	30	131	92	68	69	[4]
OBN							64	36	5	296	25	204	283	20	76	118	71	95	авторы

Особо отметим, что эти решения подобны механизмам очагов афтершоков Рачинского землетрясения 29.04.1991 г. [1–2], что говорит о продолжении сейсмического процесса в этом сложном очаге, существенно изменившем на десятилетия сейсмический режим этой территории.

**Макросейсмические сведения** собраны по данным информационных агентств.

В Грузии (ТИГ) сильные толчки ощущались в городах Кутаиси, Сахчере, Цхалтубо, Лентехи. Землетрясение длилось около двух минут. Из-за землетрясения прекратилась подача света в г. Чиатура. Подземные толчки почувствовали жители Рачинского региона, Нижней Сванетии и Имеретии. Незначительные повреждения зафиксированы в селах Амбролаурского района. После подземных толчков появились трещины в нескольких зданиях.

В Армении, по сообщению Национальной службы сейсмической защиты, землетрясение ощущалось на севере республики с интенсивностью  $I=3-4$  балла в Степанаване, 3 балла – в Гюмри и Нойемберяне.

На территории Российской Федерации землетрясение 6 февраля ощущалось в Кабардино-Балкарии. По данным МЧС этой республики, в Нальчике и в Алагире (Республика Северная Осетия–Алания) землетрясение ощущалось с  $I=3-4$  балла.

Собранные макросейсмические данные сведены на карте «пункты-баллы» (рис. 11). Вытянутость наиболее уверенно определенной четырехбалльной изолинии хорошо согласуется с простиранием нодальной плоскости  $NP1$  решения механизма очага по Гарварду (табл. 2).

**Исторические сведения.** Кроме уже упомянутого Рачинского землетрясения 29 апреля 1991 г. [13] ранее вблизи исследуемой очаговой области в 1971 г. произошло несколько земле-



Рис. 11. Карта «пункты-баллы» для Онийского землетрясения 6 февраля 2006 г.

трясений в районе г. Они [14, 15]. Первый толчок 16 мая 1971 г. в 20<sup>h</sup>17<sup>m</sup> с  $M=4.0$  ощущался в г. Они и его окрестностях с силой 5–6 баллов. Последующие два толчка, почти одинаковые по силе ( $M=4.0$ ), произошли 18 мая в 00<sup>h</sup>11<sup>m</sup> и 08<sup>h</sup>19<sup>m</sup>.

Эпицентр первого Онийского землетрясения располагался на расстоянии 10 км к северо-востоку от г. Они. Два следующих толчка были также в радиусе 10 км от г. Они, но юго-западнее от него. Было зарегистрировано 109 повторных толчков, для 33 из них определены координаты эпицентров. Картина наблюдаемой сейсмичности напоминала рой землетрясений. Самое сильное землетрясение в нем произошло 28 июня в 19<sup>h</sup>53<sup>m</sup>, которое ощущалось в г. Они с силой около 6 баллов и охватило довольно большую территорию – приблизительно 8000 км<sup>2</sup>.

### Л и т е р а т у р а

1. **Арефьев С.С., Плетнев К.Г., Татевосян Р.Э. и др.** Рачинское землетрясение 1991 г.: результаты полевых сейсмологических наблюдений // Физика Земли. – 1993. – № 3. – С. 12–23
2. **Арефьев С.С.** Эпицентральные сейсмологические исследования. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 375 с.
3. **Рогожин Е.А., Иогансон Л.И., Завьялов А.Д., Захаров В.С., Лутиков А.И., Славина Л.Б., Рейснер Г.И., Овсяченко А.Н., Юнга С.Л., Новиков С.С.** Потенциальные сейсмические очаги и сейсмологические предвестники землетрясений – основа реального сейсмического прогноза. – М.: Светоч Плюс, 2011. – 368 с.
4. **Bulletin of the International Seismological Centre for 2006.** – Berkshire: ISC, 2008.
5. **Габсатарова И.П., Е.А. Селиванова, Л.В. Головкова, С.Р. Амиров, Л.В. Девяткина (отв. сост.), Александрова Л.И., Иванова Л.Е., Малянова Л.С., Асманов О.А., Мусалаева З.А., Сагателова Е.Ю., Гамидова А.М., Абдуллаева А.Р., Котляренко Н.Л., Никольская Т.Н., Яфимова Я.П., Киселева О.А., Цирихова Г.В., Калоева И.Ю.** Каталог землетрясений ( $N=1425$ ) и взрывов ( $N=16$ ) Северного Кавказа за 2006 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
6. **Kennett B.L.N., Engdahl E.R., Buland R.** Constraints on seismic velocities in the Earth from travel times // Geophys J. Int. – 1995. – 122. – P. 108–124.
7. **Кондорская Н.В.** Выделение волны  $sP$  при неглубоких землетрясениях и ее использование для определения глубины очага // Труды Геофизического института. №36(163). – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – С. 35–47.
8. **Арефьев С.С., Рогожин Е.А., Быкова В.В., Дорбат К.** Глубинная структура очаговой зоны Рачинского землетрясения по сейсмотомографическим данным // Физика Земли. – 2006а. – № 1. – С. 30–44.
9. **Арефьев С.С., Рогожин Е.А., Аптекман Ж.Я., Быкова В.В., Дорбат К.** Глубинная структура и томографическое изображение очаговых зон сильных землетрясений // Физика Земли. – 2006б. – № 10. – С. 65–80.
10. **Габсатарова И.П., Головкова Л.В., Темникова З.В. Селиванова Е.А.** Афтершоки ( $N=600$ ) Онийского землетрясения 6 февраля 2006 г. с  $K_p=12.3$ ,  $M_w=5.3$  за 2006 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
11. **Ландер А.В.** Комплекс программ определения механизмов очагов землетрясений и их графического представления // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки и Командорских островов (01.01.2003–31.12.2003) // Отчет КОМСП ГС РАН. – Петропавловск-Камчатский: Фонды КОМСП ГС РАН, 2004. – С. 359–380.
12. **Ландер А.В.** Описание и инструкция для пользователя комплекса программ FA (расчет и графическое представление механизмов очагов землетрясений по знакам первых вступлений  $P$ -волн). – М.: Фонды автора, 2006. – 27 с.
13. **Папалашвили В.Г., Варазанашвили О.Ш., Гогмачадзе С.А., Заалишвили В.Б., Кипиани Д.Г., Махатадзе Л.Н., Мухадзе Т.Г., Чачава Т.Н., Аивазишвили И.В.** Рача-Джавское землетрясение 29 апреля 1991 г. // Землетрясения в СССР в 1991 г. – М.: ОИФЗ РАН, 1997. – С. 18–28.
14. **Папалашвили В.Г., Султанова З.З., Дарахвелидзе Л.К., Лебедева Т.М., Табуцадзе Ц.А., Кахиани Л.А., Лабадзе Л.В., Шаламберидзе Н.И., Бикашвили Л.А., Казиева С.Г., Чиковани В.В., Капанадзе А.А.** Землетрясения Кавказа // Землетрясения СССР в 1971 г. – М.: Наука, 1975. – С. 18–23.
15. **Бабаян Т.О., Кулиев Ф.Т., Папалашвили В.Г., Шебалин Н.В., Вандышева Н.В. (отв. сост.).** II б. Кавказ [50–1974 гг.,  $M \geq 4.0$ ,  $I_0 \geq 5$ ] // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 69–170.