

ОНИЙСКОЕ-II ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 7 сентября 2009 г. с $K_p=14.2$, $MS=5.8$ (Грузия)**И.П. Габсатарова**Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, ira@gsras.ru

Онийское-II землетрясение произошло 7 сентября 2009 г. в $22^{\text{h}}41^{\text{m}}$ с $K_p=14.2$ [1], $MS=5.8$ [2], $M_w=6.2$ [3]. Оно локализовано на южном склоне Большого Кавказа, в районе Рачи, в средней части р. Риони на севере Грузии, примерно в 6 км от г. Они. Интенсивность в эпицентре ориентировочно оценена равной $I_0=6-7$ баллов по номограмме из [4], связывающей разницу I_0-I_r , гипоцентрального расстояние Δ и глубину $h=14$ км при значении $\nu=3.0$, что близко к значению коэффициента затухания для Большого Кавказа ($\nu=3.1$).

Положение основного толчка и афтершоков совпадает с северной ветвью сложной очаговой зоны Рачинского землетрясения 29.04.1991 г. с $MS=7.0$, $I_0=7-8$ [5-7], одного из сильнейших землетрясений XX в. на Кавказе. Все последующие годы этот район оставался высокосейсмичным. Здесь 06.02.2006 г. в районе этой же северной ветви произошло 6-балльное Онийское-I землетрясение с $K_p=12.3$, $MS=5.0$ [8]. Анализ долговременной сейсмической активности на Северном Кавказе позволяет выделить этот район, наряду с отдельными зонами в его восточной части, как наиболее активный ($A_{3.3} \geq 1.5$) в центральной зоне [9] (рис. 1).

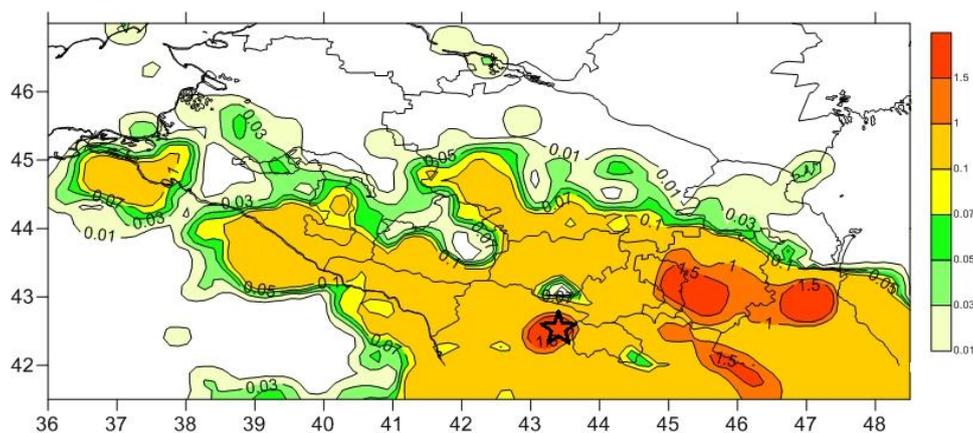


Рис. 1. Карта сейсмической активности $A_{3.3}$ Северокавказского региона РФ и сопредельных территорий по [9] (звездой показано положение эпицентра Онийского-II землетрясения 07.09.2009 г.)

Эпицентр Онийского-II землетрясения расположен в пределах границ ответственности регионального каталога Северного Кавказа, т.е. на расстоянии ≤ 30 км от государственной границы России. Основной толчок и многочисленные ($N=1167$) его афтершоки [1] 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 этой статьи на сайте Международного сейсмологического центра ISC [10]. Это позволило более уверенно определить координаты эпицентров и глубины очагов основного толчка и афтершоков. В частности, при определении параметров гипоцентра основного толчка использовались данные 39 сейсмических станций, ближайшая из которых – «Они» – находится на расстоянии $\Delta=6$ км, наиболее удаленная – «Новохоперск» – $\Delta=958$ км (рис. 2).

Онийское-II землетрясение 07.09.2009 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 ($\delta=2$ км) эпицентры Грузии (TIF) и Северного Кавказа (NC), ISC и IDC. Эпицентры центров NEIC, GCMТ и MOS удалены от TIF не более чем на 10 км, более всего удален эпицентр центра CSEM.

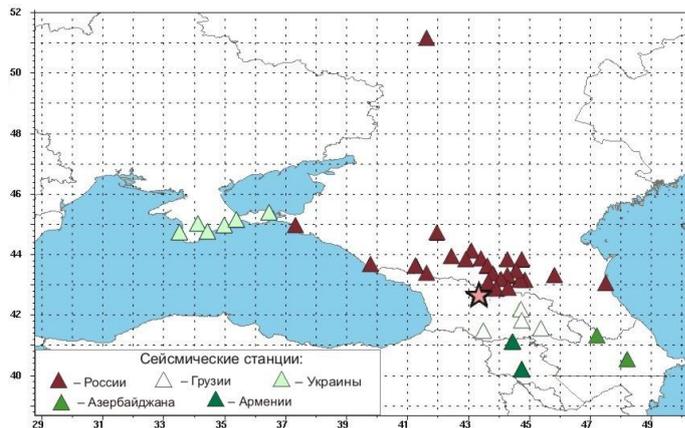


Рис. 2. Положение региональных станций, участвующих в определении координат гипоцентра Онийского-II землетрясения 7 сентября 2009 г. в 22^h41^m (эпицентр показан звездой)

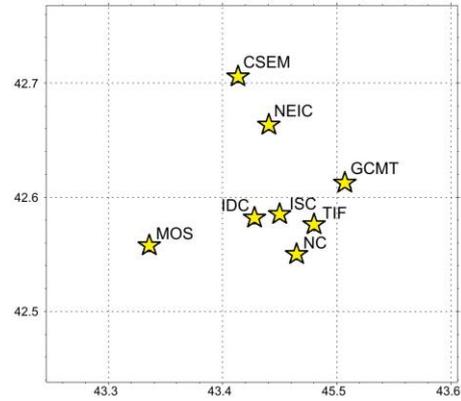


Рис. 3. Положение эпицентра основного толчка Онийского-II землетрясения 7 сентября 2009 г. в 22^h41^m

Таблица 1. Основные параметры Онийского-II землетрясения 7 сентября 2009 г. с $K_p=14.2$, $M_S=5.8$ по данным Северного Кавказа (NC) в сопоставлении с определениями других агентств

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источник
			φ° , N	$\delta\varphi^\circ$	λ° , E	$\delta\lambda^\circ$	h , км	δh , км		
NC	22 41 37.12	0.13	42.547	0.01	43.467	0.01	12	1	$K_p=14.2/14$, $M_w=6.2/2$	[1]
TIF	22 41 35.69	0.1	42.5727		43.4825		12.2	1	$M_L=6.0$	[10]
MOS	22 41 34.6	1.14	42.554	0.03	43.338	0.03	8		$M_S=5.8/82$, $M_{PSP}=5.9/126$, $M_w=6.3/1$	[2]
ISC	22 41 37.16	1.31	42.5829	0.02	43.4523	0.02	14.6 14*	1	$M_S=5.9/251$, $m_b=5.7/418$	[10]
NEIC	22 41 37.36	0.75	42.66	0.05	43.443	0.03	15f	8	$M_S=5.8/146$, $m_b=5.7/202$; $M_w=5.9$	[10]
GCMT	22 41 40.9	0.1	42.61		43.51		13.4		$M_w=6.0$	[10]
IDC	22 41 34.6	0.3	42.5784	0.07	43.4300	0.05	0f		$M_S=5.9/37$, $m_b=5.3/33$, $M_L=4.4/8$	[10]
CSEM	22 41 36.9	1.00	42.7019		43.4155		11		$M_S=5.7$, $m_b=5.8/99$, $M_w=6.0$	[10]

Примечание. Расшифровка кодов агентств дана в обозначениях к наст. сб.

Глубина гипоцентра основного толчка по данным всех центров (NC, TIF, MOS, GCMT, NEIC, CSEM, ISC), кроме IDC, где изначально глубина фиксировалась на отметке $h=0$ км, определена в интервале $h=8-15$ км. Значение h в решении ISC, определенное по разности прихода глубинных фаз pP и sP , составило $h=14$ км.

В [11, 12] 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.

Форшоки Онийского-II землетрясения были зарегистрированы 7 сентября 2009 г. за 1^h37^m, 1^h36^m и 1^h34^m минуты до основного толчка (рис. 4). Они имели $K_p = 8.0, 10.0$ и 7.8 соответственно (табл. 2). Следовательно, величина энергетической ступени между главным толчком и максимальным форшоком равна:

$$\Delta K_\phi = K_0 - K_\phi = 14.2 - 10.0 = 4.2.$$

До этого в течение 70 суток в очаговой зоне не происходили землетрясения с $K_p \geq 9$ (рис. 5).

Таблица 2. Список форшоков землетрясения 7 сентября 2009 г.

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Эпицентр		h , км	K_p
			φ° , N	λ° , E		
1	07.09	21 03 51.4	42.57	43.49	17	8.0
2	07.09	21 05 29.9	42.54	43.47	12	10.0
3	07.09	21 07 22.4	42.57	43.50	16	7.8

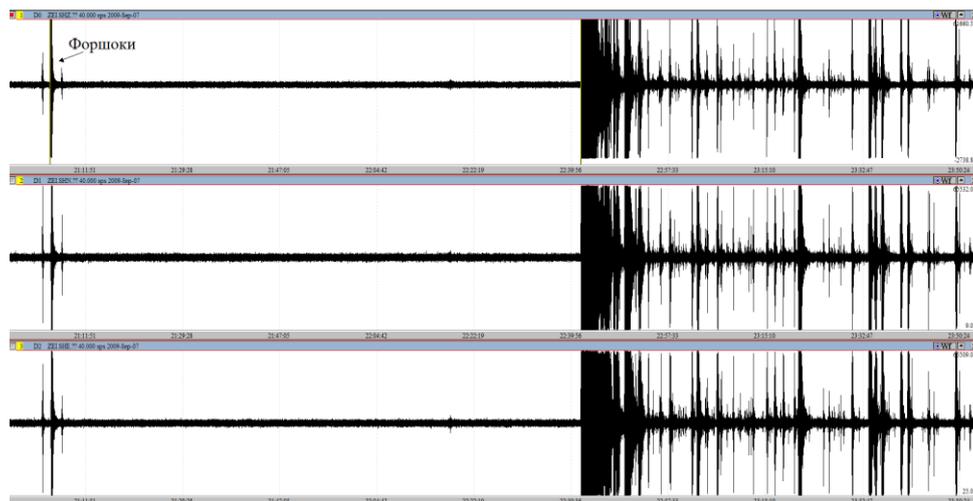


Рис. 3. Трехкомпонентные записи сейсмической станции «Цей» ($\Delta=45$ км) за 1^h40^m до основного толчка 7.09.2009 г. и 1^h10^m – после него

Афтершоки Онийского-II землетрясения описаны каталогом в количестве $N=1167$, где они идентифицированы в графе «признак последовательности» [1]. Для определения параметров афтершоков, кроме рутинной методики обработки по программе HYPO71 применялся уточняющий метод двойных разностей [13], как это делалось и для афтершоков Курчалойского землетрясения 11.10.2008 г. [14].

Расположение эпицентров показано на рис. 4 на фоне карты эпицентров афтершоков Рачинского землетрясения 29.04.1991 г. из [5–7]. Как видно, землетрясение произошло в северной «ветви» афтершокового поля Рачинского землетрясения 1991 г.

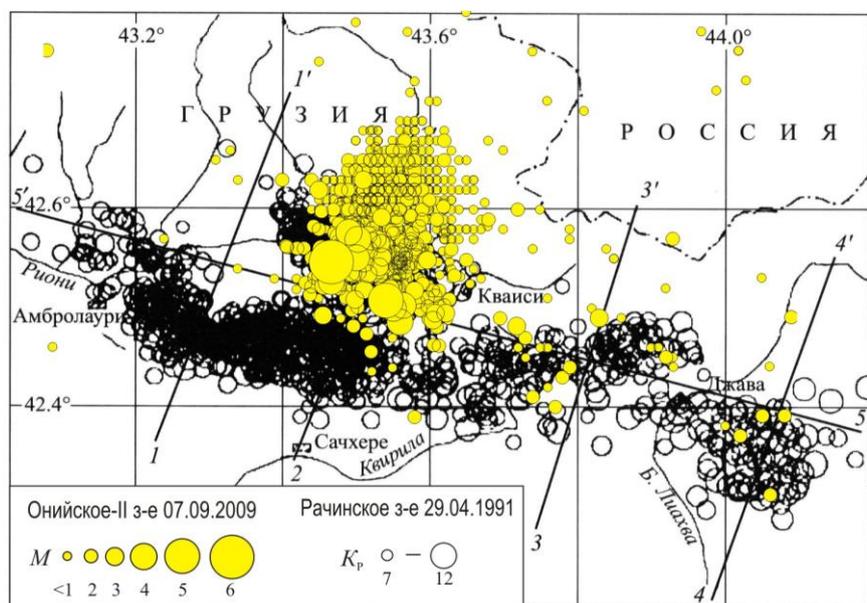


Рис. 4. Онийское-II землетрясение 7 сентября 2009 г. и его афтершоки (значения магнитуд получены по формуле пересчета $K_p=1.8 \cdot M + 4$ [15]) на фоне карты эпицентров афтершоков с $K_p=7-12$ Рачинского землетрясения 29.04.1991 г. с $MS=7.0$, $I_0=7-8$ [5–7]

«Облако» афтершоков неоднородно: по положению эпицентров сильнейших афтершоков оно разбивается на две подзоны (рис. 5). Основной толчок произошел в северо-западной подзоне, максимальный афтершок с $K_p=12.3$ через 8^m после него – в юго-восточной. Расстояние между эпицентрами около 7 км. Больше число афтершоков произошло в первой из названных зон. Координаты слабых афтершоков определялись в основном по данным Северо-Осетинской сети, набор станций не удовлетворительно окружал эпицентры, отсюда точность в определении

параметров несколько хуже. Поэтому некоторая вытянутость облака афтершоков на север–северо-восток может быть связана с этим. Сечение афтершоковой области с северо-запада на юго-восток по линии А-Б в соответствии с рис. 5 показывает, что основная их масса произошла на глубинах 10–17 км (рис. 6). Величина энергетической ступени между главным толчком и максимальным афтершоком составила

$$\Delta K_a = K_0 - K_a = 14.2 - 12.3 = 1.9.$$

Размеры облака афтершоков, полученные по методу А.Г. Прозорова [16], реализованного в ГИС EEDB [17], следующие: большая ось – $\ell_a=25$ км, малая – $\ell_b=18$ км (рис. 5). Это близко к значению длины разрыва $L=20$ км [3], полученному по спектральным оценкам записи станции «Сочи» SOC. Азимут простираения большой оси эллипса, равный $\sim 310^\circ$, близок к простираению нодальной плоскости NPI ($314-289^\circ$ по разным центрам) (табл. 3).

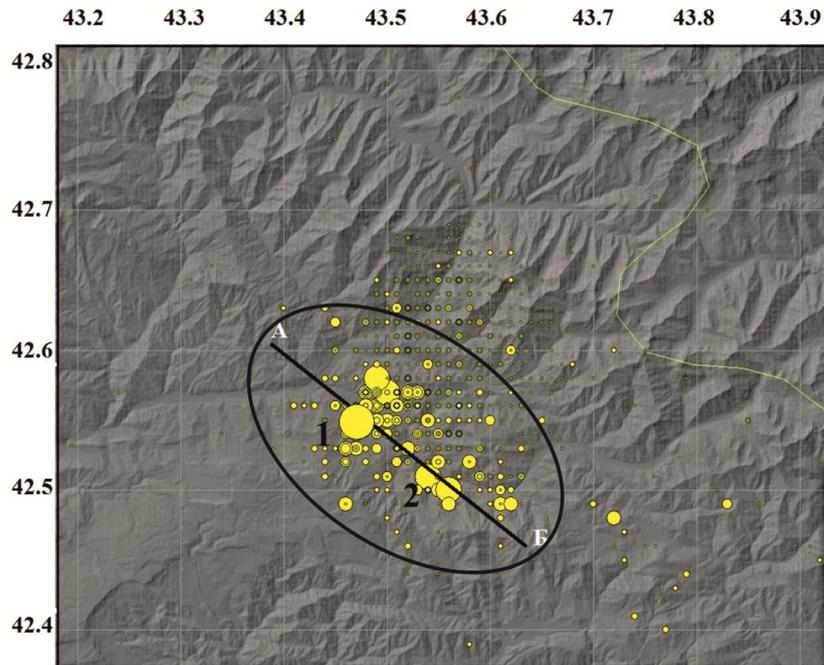


Рис. 5. Положение эпицентров сильнейших афтершоков Онийского-II землетрясения, построенное с использованием ГИС EEDB [17]

1 – основной толчок 7 сентября 2009 г. в $22^{\text{h}}41^{\text{m}}$ с $K_p=14.2$, $M_w=6.2$; 2 – максимальный афтершок 7 сентября 2009 г. в $22^{\text{h}}49^{\text{m}}$ с $K_p=12.3$, $M_w=4.9$ [1]; эллипсом показана область афтершоков, выделенная по методу Прозорова [16].

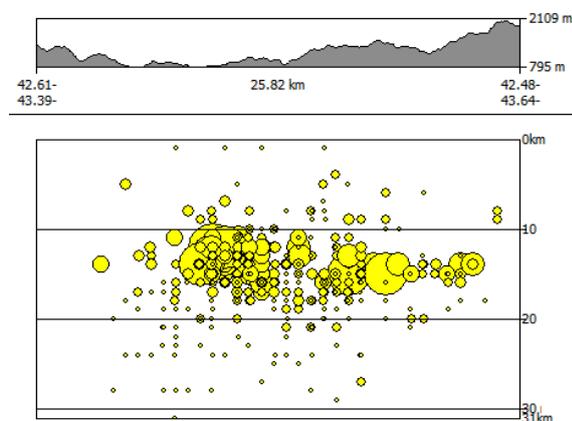


Рис. 6. Вертикальное сечение «облака» афтершоков по линии А-Б (для построения использована ГИС EEDB [17])

В [18] был проведен расчет скорости p изменения интенсивности потока событий с использованием подхода [19], согласно которому изменение числа афтершоков N со временем T можно описать уравнением прямой в двойном логарифмическом масштабе: $\lg N = -p \lg T + b$, где p – скорость изменения интенсивности потока событий, T – период регулярного спада активности афтершокового процесса в сутках от основного события. Для Онийского-II землетрясения получено распределение, изображенное на рис. 7 и 8. Максимальное число ($N=415$) афтершоков отмечено в первые сутки после главного толчка. В первые 15 суток процесс хорошо описывается степенным законом с минимальным разбросом точек относительно линии регрессии, т.е. согласуется с законом

Омори ($p=1.73\pm 0.15$ при $R=0.95$). В следующем интервале (16–29 суток) разброс точек увеличивается, но все же удовлетворительно согласуется со степенным законом ($p=1.38\pm 0.14$ при $R=0.88$). После 30 суток процесс становится нерегулярным и длится до конца года (рис. 8).

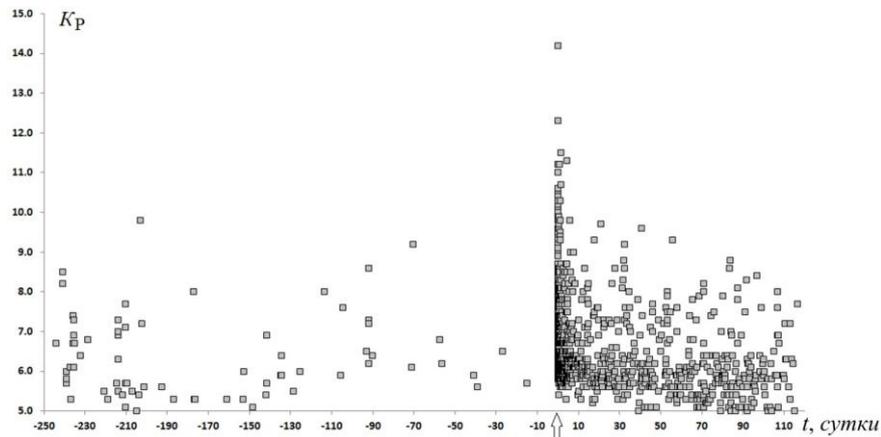


Рис. 7. Развертка во времени значений энергетических классов K_p землетрясений 2009 г. в очаговой зоне Онийского-II землетрясения за 250 суток до главного толчка и за 110 суток после него

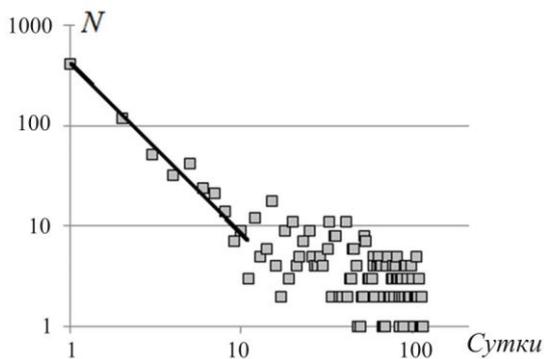


Рис. 8. Распределение числа землетрясений за сутки, отсчитанные от момента главного толчка 7 сентября 2009 г. в 22^h41^m в билогарифмическом масштабе

На основе статистики распределения сильных и слабых афтершоков в период афтершоковой деятельности может быть оценен характер изменения свойств среды в самом общем виде. С этой целью исследовано поведение графиков повторяемости.

Для Онийского-II землетрясения 7 сентября 2009 г. построен график повторяемости (ненормированный) за весь афтершоковый период в 2009 г., методом ортогональной регрессии рассчитан наклон γ . Предварительно был оценен представительный уровень K_p . Он составил $K_{\min}=6$ (рис. 9). Более слабые ($K_p < 6$) землетрясения, как видно на рис. 9, испытывают дефицит. В диапазоне $K_p=6-11$ получено значение $\gamma=0.41\pm 0.2$ при $R=0.99$, что на 0.17 ниже, чем наклон графика

повторяемости, полученный при Онийском-I землетрясении 06.02.2006 г. [8].

Представляет также интерес исследование изменчивости во времени угла наклона γ графика повторяемости $N(K_p)$ афтершоков.

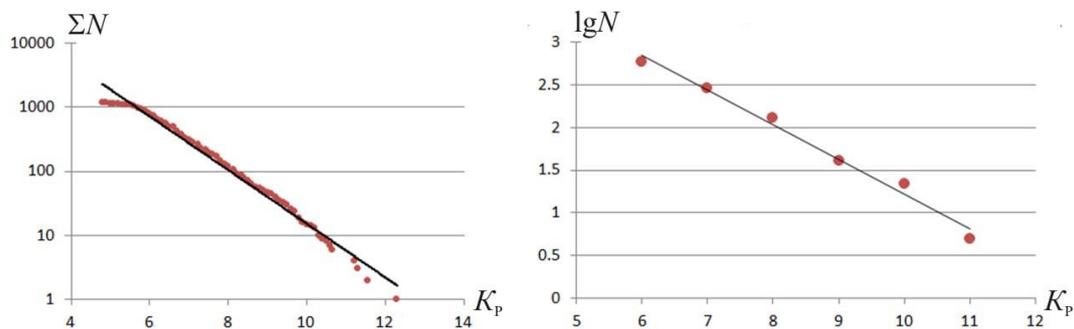


Рис. 9. Графики повторяемости афтершоков землетрясений Онийского-II 7 сентября 2009 г.: слева – кумулятивный, справа – обычный

Сорокадневный период времени (с 7 сентября по 16 октября) был разбит на четыре интервала (с учетом представительности выборки) и для каждого из них рассчитан наклон графика

ка повторяемости методом ортогональной регрессии (табл. 3). Все последующие толчки до конца года были объединены в один пятый интервал. Отмечено, что в первые сутки представительными были землетрясения $K_{\min}=7$, а во все последующие $K_{\min}=6$. Наиболее высокое значение $\gamma=0.54$ получено для пятого интервала.

Таблица 3. Параметры графиков повторяемости для разных временных интервалов афтершокового процесса Онийского-II землетрясения с $K_p=14.2$ с $MS=5.8$

Сутки афтершокового процесса	Число землетрясений	Интервал классов	γ	R
первые	411	7–12	0.44 ± 0.04	0.987
2–5	256	6–12	0.38 ± 0.03	0.988
6–15	102	6–9	0.43 ± 0.05	0.987
16–40	120	6–10	0.39 ± 0.03	0.991
41–116	189	6–9	0.54 ± 0.07	0.984

Рассмотрение графиков повторяемости для отдельных периодов показало (рис. 10), что для двух интервалов графики имеют сложную форму и существенно отклоняются от линейного закона. В первые сутки отмечается «ступенька» на отметке $K_p=10$, т.е. наблюдается аномально большое количество землетрясений этого уровня. Но уже в следующем интервале (2–5-е сутки) график приобретает вогнутый вид, что говорит о недостаточном количестве землетрясений с $K_p=9-10$. Пользуясь терминологией из [20], трещины соответствующего уровня начинают «залечиваться».

Таким образом, исследование поведения γ показывает на нестабильность во времени сейсмического режима в очаге Онийского-II землетрясения.

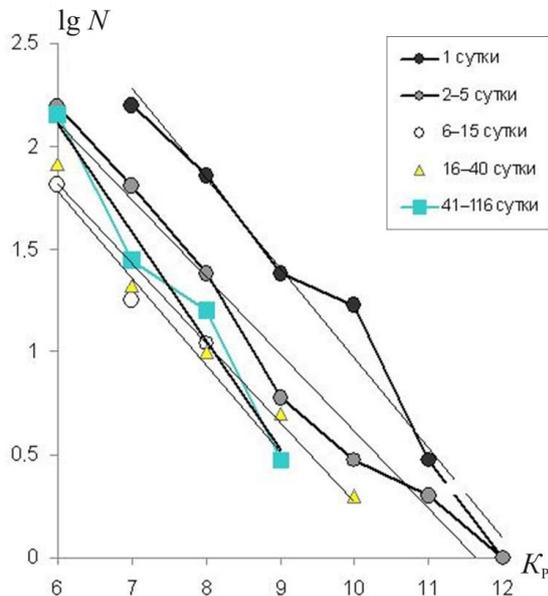


Рис. 10. Графики повторяемости, соответствующие разбиению афтершокового периода на части, согласно табл. 3

Решение механизма очага Онийского-II землетрясения 07.09.2009 г. приведено по данным агентств GCMT, NEIC из [10] и OBN (Информационно-обрабатывающего центра в Обнинске) из [21]. Решение OBN получено по знакам P -волн на 217 станциях («+» на 174-х, «-» на 43-х), расположенных вокруг эпицентра ($AZM=2-347^\circ$) на расстояниях $\Delta=0.06-108^\circ$. Применялась методика и программы А.В. Ландера [22, 23].

Диаграммы механизма очага в стереографической проекции в нижней полусфере показаны на рис. 11, а его параметры – в табл. 4. Онийское-II землетрясение 2009 г. произошло под действием напряжений сжатия, ориентированных в близмеридиальном направлении. По всем трем решениям нодальная плоскость $NP1$ имеет северо-западное простирание и пологое ($DP=28, 31, 32^\circ$) залегание, а плоскость $NP2$ – более крутая ($DP=63, 59, 58^\circ$) и простирается на восток-восток. Решения трех центров подобны.

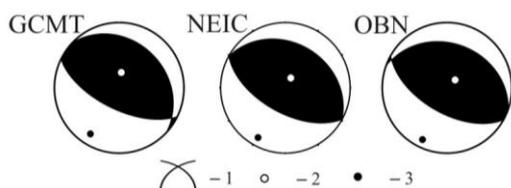


Рис. 11. Стереогаммы механизма очага Онийского-II землетрясения по данным различных центров

1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений растяжения и сжатия соответственно; зачернена область волн сжатия.

Тип подвижки по пологим плоскостям – надвиг с компонентами правостороннего сдвига по GCMT и левостороннего – по OBN. Движение по второй плоскости представлено взбросом с компонентами левостороннего сдвига по GCMT и правостороннего – по OBN, по NEIC – чистый взброс.

Таблица 4. Параметры механизма очага Онийского-II землетрясения 07.09.2009 г. в $22^{\text{h}}41^{\text{m}}$ с $M_S=5.8$

Агентство	Дата, д м	t_0 , ч мин с	h , км	Магнитуды		K_p	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Источник
				M_w	M_S		T		N		P		NP1			NP2			
							PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP	
OBN	07.09	22 41 37.1		6.2	5.8	14.2	76	46	5	297	13	205	289	32	81	120	58	96	[21]
GCMT	07.09	22 41 40.9	9	6.0			71	7	8	120	17	212	314	28	106	116	63	81	[10]
NEIC	07.09	22 41 37.4		5.9			70	25	0	119	13	209	299	31	90	119	59	90	[10]

Особо отметим, что эти решения подобны механизмам очагов афтершоков Рачинского землетрясения 29.04.1991 г. [5, 6] и Онийского-I землетрясения 06.02.2006 г. [8], 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 MOS [2] и NEIC, большая часть которых размещена на сайте ISC [10].

В Грузии, по сообщению агентства TIF (рис. 12) – не менее тысячи строений было разрушено в северо-западной части республики, в г. Они – 6 баллов (один человек погиб). В Тбилиси – 5 баллов, в Цхинвале – 4–5 баллов, в Рустави – 3 балла. Также ощущалось в Батуми, Боржоме, Кутаиси, Лагодехи, Магнеули, Поти, Сачхере, Сухуми, Телави и Зугдиди.

В Армении ощущалось в городах Ачаджур, Дилижан, Гюмри, Ноемберян, Спитак, Степанаван, Ереван.

В Турции замечено лишь в отдельных городах: Ардахане, Карсе, Ризе, Трабзоне.

На территории Российской Федерации землетрясение 7 сентября ощущалось в Северной Осетии–Алании: по данным МЧС этой республики в Ардоне и Владикавказе землетрясение ощущалось с $I=3-4$ балла; в Грозном и Махачкале – 3 балла. С интенсивностью 2 балла землетрясение ощущалось в Ростове. Также ощущалось в Алагире, Бабаюрте, Дербенте, Майкопе, Нальчике, Павлодольской, Сочи и Ставрополе.



Рис. 12. Разрушения в г. Они по данным Средиземноморского центра (на сайте <http://www.emsc-csem.org>)

Собранные макросейсмические данные сведены на карте «пункты-баллы», в некоторых интенсивность в баллах неизвестна. Опираясь на известные данные, можно предложить вариант карты изосейст (рис. 13), согласующийся с механизмом очага землетрясения.

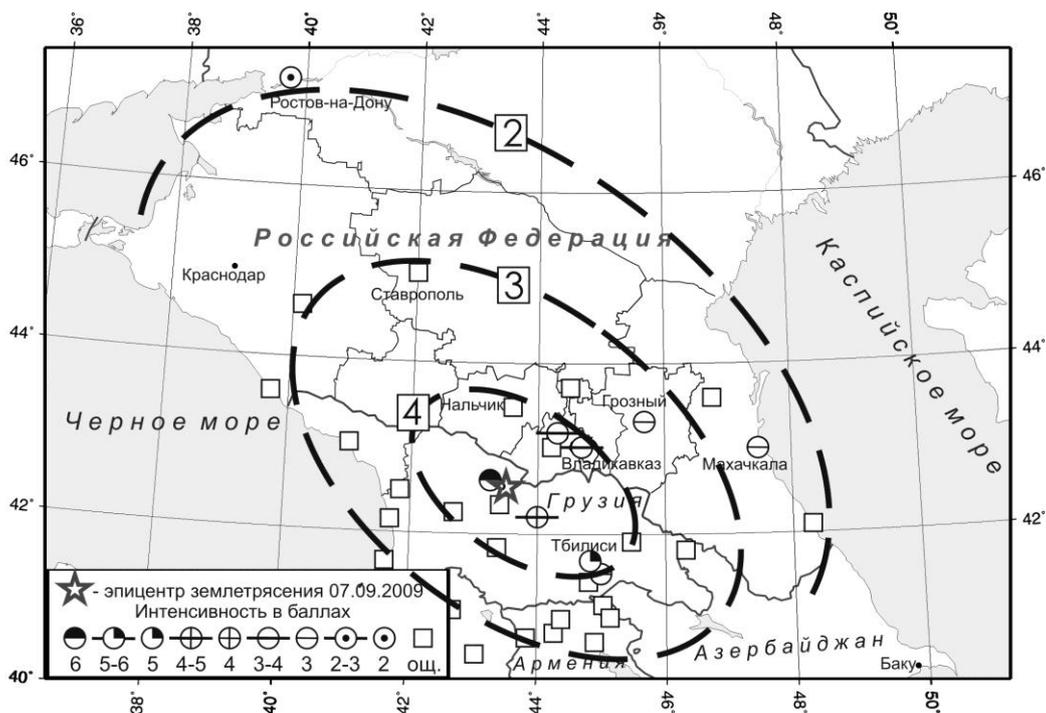


Рис. 13. Карта «пункты-баллы» с вероятным положением изосейст Онийского-II землетрясения 7 сентября 2009 г. с $K_p=14.2$, $M_S=5.8$

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-05-00158).

Л и т е р а т у р а

1. Габсатарова И.П., Головкова Л.В., Асманов О.А., Девяткина Л.В. (отв. сост.), Абдуллаева А.Р., Александрова Л.И., [Амиров С.Р.], Гамидова А.М., Иванова Л.Е., Калоева И.Ю., Киселёва О.А., Лешук Н.М., Малянова Л.С., Морозова Я.Н., Мусалаева З.А., Петросян Э.Н., Сагателова Е.Ю., Селиванова Е.А., Цирихова Г.В. (сост.). Каталог землетрясений и взрывов Северного Кавказа за 2009 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
2. 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/.
3. Малянова Л.С., Габсатарова И.П. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Северного Кавказа. (См. раздел II (Спектры и динамические параметры очагов землетрясений) в наст. сб.).
4. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / Отв. ред. Н.В. Кондорская, Н.В. Шебакин. – М.: Наука, 1977. – С. 21.
5. Арефьев С.С., Плетнев К.Г., Татевосян Р.Э. и др. Рачинское землетрясение 1991 г.: результаты полевых сейсмологических наблюдений // Физика Земли. – 1993. – № 3. – М.: Академкнига, 2003. – С. 12–23.
6. Арефьев С.С. Эпицентральные сейсмологические исследования. – М.: Академкнига, 2003. – С. 47, 49, 349.
7. 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.
8. Габсатарова И.П., Головкова Л.В., Селиванова Е.А. Онийское-I землетрясение 6 февраля 2006 г. с $M_S=5.0$, $I_0^p=6$ (Грузия) // Землетрясения Северной Евразии, 2006 год. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 308–313.
9. Рогожин Е.А., Лутиков А.И., Овсяченко А.Н., Донцова Г.Ю., Кучай М.С., Родина С.Н. Опыт детального сейсмического районирования Северного Кавказа // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. – 2013. – № 4. – С. 38–42.

10. **International Seismological Centre. On-Line Bulletin** // International Seismological Centre [сайт]. [2012]. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.
11. **Арефьев С.С., Рогожин Е.А., Быкова В.В., Дорбат К.** Глубинная структура очаговой зоны Рачинского землетрясения по сейсмотомографическим данным // Физика Земли. – 2006. – № 1. – С. 30–44.
12. **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. – 2006. – № 10. – С. 65–80.
13. **Waldhauser F. and Ellsworth W.L.** A double-difference earthquake location algorithm: method and application to the Northern Hayward fault, California // Bull. Seism. Soc. Am. – 2000. – **90**. – N 6. – P. 1353–1368.
14. **Габсатарова И.П.** Инструментальные параметры очага Курчалойского землетрясения 11 октября 2008 г. с $K_p=14.5$, $M_w=5.8$, $I_0=7-8$ (Чеченская Республика) // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 433–447.
15. **Раутиан Т.Г.** Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности (Труды ИФЗ АН СССР; № 9(176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
16. **Прозоров А.Г.** Динамический алгоритм выделения афтершоков для мирового каталога землетрясений // Математические методы в сейсмологии и геодинимике. – Вычислительная сейсмология; Вып. 19. – С. 58–62.
17. **Михеева А.В., Дядьков П.Г., Марчук А.Г.** Геоинформационная система GIS-EEDB и методы пространственно-временного анализа сейсмологических данных // Геоинформатика. – 2013. – № 2. – С. 58–65.
18. **Габсатарова И.П.** Рои и афтершоки на Северном Кавказе как показатель релаксационных свойств среды // Активные разломы и их значение для оценки сейсмической опасности: современное состояние проблемы: материалы XIX научно-практической конференции с международным участием 7–10 октября 2014 г. / [под ред. Е.А. Рогожина, Л.И. Надёжки]. – Воронеж: Научная книга, 2014. – С. 90–95.
19. **Татевосян Р.Э., Аптекман Ж.Я.** Этапы развития афтершоковых последовательностей сильных землетрясений мира // Физика Земли. – 2008. – № 12. – С. 3–23.
20. **Арефьев С.С., Кузнецова К.И., Малевская О.Я., Шебалин Н.В., Штейнберг В.В.** Режим // Дагестанское землетрясение 14 мая 1970 г. – М.: Наука, 1980. – С. 97–116.
21. **Габсатарова И.П. (отв. сост.), Малянова Л.С. (сост.)**. Каталог механизмов очагов землетрясений Северного Кавказа за 2009 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
22. **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.
23. **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.