

**ДУПЛЕТ ДОМБАЙСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 2013 г. в ОЧАГОВОЙ ЗОНЕ
ЧХАЛТИНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 1963 г.**

И.П. Габсатарова, Л.Н. Королецки, Л.С. Малянова

ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия, ira@gsras.ru

Аннотация. В области очагов девятибалльного Чхалтинского землетрясения 1963 г. и семибалльного Тебердинского 21.10.1905 г. в 2013 г. зарегистрировано два Домбайских землетрясения 26 марта в 23^h35^m с $K_p=11.9$ и 28 мая в 00^h09^m с $K_p=11.9$ ($M_{WGCMТ}=4.9$ и 5.2 соответственно), которые сопровождались афтершоковыми процессами. По спектрам S-волн станций «Анапа» и «Кисловодск» получены оценки динамических параметров очагов первого и второго землетрясений соответственно в порядке указания: длина разрыва $L=3.4, 3.8$ км, сброшенное напряжение $\Delta\sigma=55, 79$ Па, кажущееся напряжения $\bar{\eta}\sigma = 1, 3$ Па и средняя подвижка по разрыву $\bar{u}=0.25, 0.33$ м. Землетрясения произошли под действием близгоризонтальных ($PL=12^\circ, PL=18^\circ$) напряжений сжатия, направленных на север–северо-восток ($AZM=21^\circ, AZM=30^\circ$). Нодальные плоскости обоих механизмов имеют подобное простирание и залегание. Тип движения в обоих очагах – взброс с небольшими сдвиговыми компонентами. Простирания нодальных плоскостей и типы движений в очагах находятся в хорошем согласии с геодинамической обстановкой осевых структур Большого Кавказа, а также подобны механизму очага разрушительного Чхалтинского землетрясения 1963 года.

Ключевые слова: Домбайские землетрясения, сильное Чхалтинское землетрясение, динамические параметры очага, механизм очага.

DOI: 10.35540/1818-6254.2019.22.32

Для цитирования: Габсатарова И.П., Королецки Л.Н., Малянова Л.С. Дуплет Домбайских землетрясений 2013 г. в очаговой зоне Чхалтинского землетрясения 1963 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 362–369. doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.32

Инструментальные данные. Дуплет объединяет два относительно сильных землетрясения: 26 марта в 23^h35^m с $K_p=11.9$ и 28 мая в 00^h09^m с $K_p=11.9$. Ближайшим к эпицентру был населенный пункт Домбай ($\Delta=10–15$ км), поэтому эти два землетрясения были названы: 26 марта 2013 г. – Домбайское-I, 28 мая 2013 г. – Домбайское-II. Особый интерес в исследовании инструментальных и макросейсмических параметров этих землетрясений вызван местоположением их очаговой зоны внутри плейстоценовой области одного из важнейших 9-балльных землетрясений Кавказа, Чхалтинского, произошедшего 55 лет назад – 16.07.1963 г. с $MLH=6.4$ [1] (см. ниже «Исторические сведения»).

По времени Домбайское-II землетрясение произошло спустя два месяца после Домбайского-I. В соответствии с табл. 1 и 2, магнитуда и энергетический класс этих землетрясений близки, координаты гипоцентров также близки и различаются только в пределах точности локализации в этой зоне ($\leq 5–10$ км).

Таблица 1. Основные параметры Домбайского-I землетрясения 26 марта 2013 г. по данным ФИЦ ЕГС РАН и других агентств

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуды	Окружение эпицентра			
			φ°, N	$\delta\varphi^\circ$	λ°, E	$\delta\lambda^\circ$	h , км	δh , км		n ст.	Δ_{min} , °	Δ_{max} , °	Gap , °
GS reg	23 35 23.20	0.60	43.28	0.06	41.71	0.06	4	5	$K_p=11.9/18\pm 0.5$ $MPVA=5.5/11$	49	0.05	5.93	132
TIF	23 35 20.50	0.3	43.143		41.527		11			17	0.15		200
AZER	23 35 23.99	0.5	43.2233	0.05	41.5444	0.05	10f		$ML=4.9/13, M_s=3.4/3$	32	3.58	7.19	323
MOS	23 35 23.30	1.24	43.246		41.745		9.0		$MPSP=5.1/103,$ $MS=4.1/33$	268			
NEIC	23 35 24.54	0.64	43.219	0.05	41.637	0.05	10f		$m_b=5.1/219$	319	1.05	130.81	25

Агент- ство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуды	Окружение эпицентра			
			φ°, N	$\delta\varphi^\circ$	λ°, E	$\delta\lambda^\circ$	h , км	δh , км		n ст.	Δ_{\min} , °	Δ_{\max} , °	Gap , °
IDC	23 35 22.43	0.31	43.1441	0.07	41.7013	0.05	0.0f		$M_S=3.9/35$, $m_b=4.7/39$ $M_L=4.1/7$	64	1.05	146.46	45
ISC	23 35 24.54	0.59	43.2285		41.6122		6.6		$M_S=4.1/54$, $m_b=5.1/343$ $M_{WGCMT}=4.9$	1283	0.06	146.88	7

Таблица 2. Основные параметры Домбайского-II землетрясения 28 мая 2013 г. по данным ФИЦ ЕГС РАН и других агентств

Агент- ство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуды	Окружение эпицентра			
			φ°, N	$\delta\varphi^\circ$	λ°, E	$\delta\lambda^\circ$	h , км	δh , км		n ст.	Δ_{\min} , °	Δ_{\max} , °	Gap , °
GS reg	00 09 51.80	0.90	43.19	0.06	41.70	0.06	4	5	$K_p=11.9/22\pm 0.5$ $MPVA=5.3/11$	50	0.05	5.93	132
TIF	00 09 49.84	0.3	43.1612		41.529		8.4		$ML=5.1$	22	0.15		119
AZER	00 09 51.72	0.58	43.226	0.05	41.5411	0.05	2f		$ML=5.2/13$, $M_S=4.1/3$	32	3.58	7.19	324
MOS	00 09 51.60	1.08	43.203		41.569		7.0		$MPSP=5.3/54$, $MS=4.6/47$, $M_w=5.5/1$	177			
NEIC	00 09 52.52	2.84	43.252	0.05	41.662	0.05	10f		$m_b=5.1/219$	319	1.05	130.81	25
IDC	00 09 51.39	0.35	43.1341	0.07	41.7048	0.05	0.0f		$M_S=3.9/35$, $m_b=4.7/39$ $M_L=4.1/7$	48	1.05	146.46	53
ISC	00 09 53.35	0.58	43.2283		41.6151		9.2		$M_S=4.8/382$, $m_b=5.2/149$ $M_{WGCMT}=5.2/99$	1533	0.06	130.79	8

Примечание. f – фиксированная глубина. GS reg – Сейсмологический бюллетень для территории Северного Кавказа, выпускаемый в ФИЦ ЕГС РАН на основании наблюдений станций Северного Кавказа. TIF – Сейсмологический бюллетень Национального Центра сейсмического мониторинга Грузии; AZER – Центр Республиканской сейсмической службы Азербайджанской Национальной Академии наук, NEIC – Национальный центр информации о землетрясениях Геологической службы США; IDC – Международный центр, Австрия, Вена; ISC – Международный сейсмологический центр, Великобритания. В столбце магнитуды, например, $M_S=4.5/9$, после косой черты указывается число сейсмических станций, по которым вычислено среднее сетевое значение.

Судя по оценкам различных центров магнитуд первого и второго Домбайских землетрясений, второе землетрясение имеет оценки K_p и M не ниже, чем у первого, а даже несколько выше. Например, по данным каталога GCMT $M_w=4.9$ и 5.2 для 26.03.2013 г. и 28.05.2013 г. соответственно.

Механизм очага. По знакам первого движения в P -волне построены механизмы очагов Домбайских землетрясений (табл. 3). Для основного толчка станции были расположены на расстояниях $\Delta=1.28\text{--}34.6^\circ$ азимутально в трех квадрантах, что характерно для сети Западного Кавказа. Знаки относительно удаленных станций были заимствованы из бюллетеня Средиземноморского Центра CSEM.

Таблица 3. Параметры механизмов очагов Домбайских и Чхалтинского землетрясений

Название	Дата, д м г	t_0 , ч мин с	h , км	Магнитуды			Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
				M_w	M_S	m_b	T		N		P		$NP1$			$NP2$		
							PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	$SLIP$	STK	DP	$SLIP$
Домбайское-I	26.03.2013	23 35 22.7	5	5.1	4.3		74	160	10	289	12	21	282	58	78	125	34	109
Домбайское-II	28.05.2013	00 09 50.7	5	5.5	4.5	5.4	71	231	6	122	18	30	305	63	97	110	28	76
Чхалтинское	16.07.1963	18 27 13.0				6.2	79	260	11	85	1	355	276	47	105	74	45	74

Домбайские землетрясения произошли под действием близгоризонтальных напряжений сжатия ($PL=12^\circ$, $PL=18^\circ$) (здесь и далее в скобках показаны значения в порядке следования для первого и второго землетрясения соответственно), направленных на север–северо-восток ($AZM=21^\circ$, $AZM=30^\circ$). Нодальные плоскости обоих механизмов имеют подобное простираение и залегание – одно имеет запад–северо-западное простираение и относительно крутое падение

($DP=58^\circ$, $DP=63^\circ$), другое – восток–юго-восточное простирание и залегает более полого ($DP=34^\circ$, $DP=28^\circ$). Тип движения в обоих очагах – взброс с небольшими сдвиговыми компонентами [2]. Такие простирания нодальных плоскостей и типы движений в очагах находятся в хорошем согласии с геодинамической обстановкой Большого Кавказа и, в то же время, подобны механизму разрушительного Чхалтинского землетрясения 1963 г. (рис. 1, табл. 3), который также представлен взбросом с правосторонней сдвиговой компонентой по $NP1$ и левосторонней по $NP2$ [3]. Землетрясение произошло под преобладающим действием сил сжатия, направленных субмеридионально.

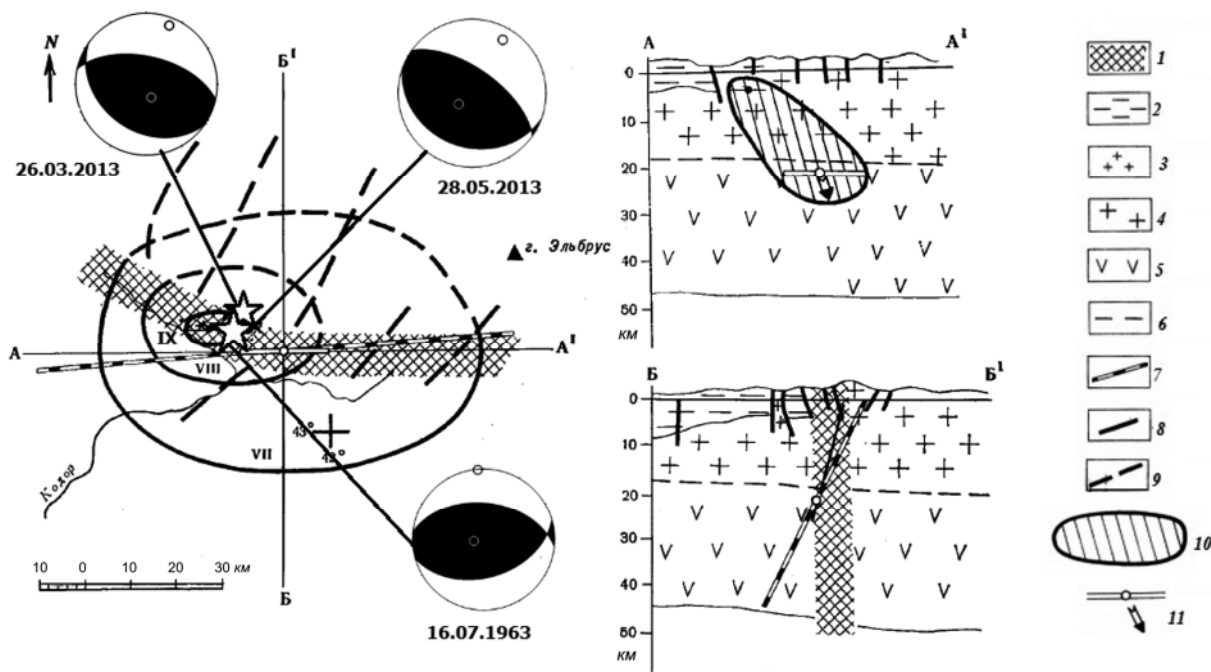


Рис. 1. Схема очага Чхалтинского землетрясения 16.07.1963 г. по данным Н.В. Шебалина [4] с наложением эпицентров и диаграмм механизмов очагов Домбайского-I и -II землетрясений

Условные обозначения из [6]: 1– зоны глубинных тектонических швов; 2–уплотненные осадки; 3 – гранитные интрузии; 4 – «гранит»; 5 – «базальт»; 6 – подошва гранитного слоя; 7 – положение возможной плоскости разрыва по механизму очага Чхалтинского землетрясения 16.07.1963; 8 – разломы по геологическим данным; 9 – зоны тектонической трещиноватости; 10 – ожившая при землетрясении площадь основного разрыва; 11 – направление подвижки в плоскости разрыва (для «переднего крыла» на разрезе AA').

Спектральные и очаговые параметры дуплета Домбайских землетрясений 2013 г. приводятся по результатам исследования спектров S -волн из [5] по записям двух станций – «Анапа» и «Кисловодск». Методика таких исследований изложена в [6]. В (табл. 4 представлены следующие параметры очагов землетрясений: Δ – эпицентральное расстояние, Ω_0 – спектральная плотность, f_n – частота перегиба спектра; f_0 – угловая частота, M_0 – сейсмический момент, M_w – моментная магнитуда, L – длина разрыва, $\Delta\sigma$ – сброшенное напряжение, $\bar{\eta\sigma}$ – кажущееся напряжение, \bar{u} – средняя подвижка по разрыву.

Таблица 4. Спектральные и динамические параметры очагов Домбайских землетрясений в 2013 г. из [5]

Землетрясение	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Код с/ст	Компонента	Δ°	Ω_0 , $10^{-6} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$	f_n , Гц	f_0 , Гц	M_0 , Н·м	M_w	L , $10^3 \cdot \text{м}$	$\Delta\sigma$, $10^5 \cdot \text{Н}/\text{м}^2$	$\bar{\eta\sigma}$, $10^5 \cdot \text{Н}/\text{м}^2$	\bar{u} , м
Домбайское-I	26.03	23 35 23.2	ANN	BLE	3.55	182	0.7	0.7	$8.7 \cdot 10^{16}$	5.3	3.8	55	3	0.25
Домбайское-II	28.05	00 09 51.8	KIV	ВН1	1.05	1010	0.4	0.65	$8.9 \cdot 10^{16}$	5.3	3.4	79	1	0.33

Полученные по двум станциям (ANN и KIV) динамические параметры для Домбайского-I и Домбайского-II землетрясений близки по значениям: скалярного сейсмического момента

$M_0=8.7 \cdot 10^{16}$ и $8.9 \cdot 10^{16}$ соответственно, длины разрыва $L=3.4$ и 3.8 км соответственно, сброшенного напряжения $\Delta\sigma=55$ и 79 Па, кажущегося напряжения $\eta\sigma$ 1 и 3 Па и средней подвижки по разрыву $\bar{u}=0.25$ и 0.33 м соответственно.

Афтершоковый процесс сопровождал оба Домбайских землетрясения, несмотря на относительно небольшие их магнитуды. После главных толчков 26 марта и 28 мая определены параметры по сети станций у 36 афтершоков с $K_p=4.1-8.5$ после первого и 103 афтершока с $K_p=3.5-8.8$ – после второго. Два сильнейших афтершока после Домбайского-I землетрясения произошли: 26 марта (через 4 минуты) с $K_p=8.5$ и 21 апреля – с $K_p=8.4$. Один из сильнейших ($K_p=8.7$) афтершоков Домбайского-II землетрясения произошел 28 мая (через 6 минут после основного толчка). Длительность афтершоковых процессов составила чуть более месяца у первого (34 суток) и трех месяцев (~100 суток) – у второго, ко времени возникновения основного толчка Домбайского-II землетрясения 28 мая афтершоковый процесс от землетрясения 26 марта практически завершился (рис. 2). Это также дало основание рассматривать землетрясения как парный процесс (дуплет), а не как элементы одного афтершокового процесса.

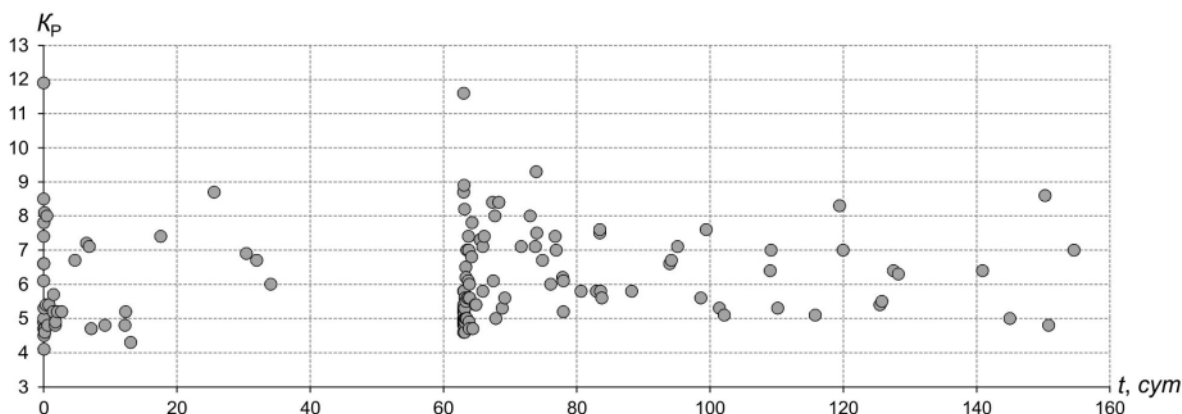


Рис. 2. Афтершоковый ряд Домбайских землетрясений 26 марта и 28 мая 2013 г. (Отсчет ведется от главного толчка 26.03.2013 г.)

Афтершоки являются отражением релаксационных процессов в области очага главного события, которые проявляются в уменьшении интенсивности потока афтершоков во времени по определенному закону. Utsu [7] предложена следующая формула:

$$N(t) = \frac{A}{(t+c)^p}, \quad (1)$$

где A , p , c – постоянные; p для различных землетрясений изменяется от 0.8 до 1.5 [8] и может достигать 1.7, по данным [9], для отдельных сильных землетрясений. При $p=1$ выражение (1) представляет собой гиперболу Омори [10]. Для расчета p использован подход из [9], где проведено исследование изменения числа афтершоков N со временем T для сильнейших землетрясений мира, которое можно описать уравнением прямой в двойном логарифмическом масштабе:

$$\lg N = -p \lg T + b, \quad (2)$$

где p – скорость изменения интенсивности потока событий, T – время наиболее активного периода афтершокового процесса в сутках от основного события. Полученные в [11] характеристики афтершоковых последовательностей Чхалтинского 1963 г. и Домбайского-II землетрясений показаны в табл. 5.

Таблица 5. Сравнительные характеристики афтершоковых последовательностей землетрясений Чхалтинского 16.07.1963 г. и Домбайского-II 28.05.2013 г.

№	Дата, д м г	M_s	γ афтершоков	$K_{\min}^{\text{пред}}$	T , сутки	p
1	16.07.1963	6.4	-0.47 ± 0.06 ($r=0.97$)	9.0	6	-1.09 ± 0.33 ($r=0.89$)
2	28.05.2013	4.8	-0.43 ± 0.03 ($r=0.99$)	7.0	3	-1.21 ± 0.47 ($r=0.93$)

Можно отметить, что оба землетрясения в Чхалта-Тебердинской зоне (табл. 5) довольно быстро меняют стадию, описываемую законом Омори (т.е. уравнением (2)) на стадию со случайным распределением афтершоков. Однако, детальное исследование афтершокового процесса Домбайского-II землетрясения ограничено представительным уровнем $K_{\min}^{\text{пред}}=7.0$, а как видно из рис. 2 значительная часть афтершоков имела $K_p=5-6$.

Общая длительность афтершокового процесса Домбайского-II землетрясения – около трех месяцев.

Тектоническая позиция очагов Домбайских землетрясений связана с крупнейшей разломной зоной, сопровождающей наиболее напряженную складчатость Главного Кавказского комплекса в осевой части [12]. Особенностью новейшей структуры горного сооружения Западного Кавказа является развитие в осевой зоне узких, шириной в первые км, шовно-депресссионных зон приразрывных грабенов [13]. Эти депрессии сформировались вдоль зон крупнейших разломов. О современной активности осевых депрессий свидетельствуют землетрясения относительно недавнего прошлого – Чхалтинское 16.07.1963 г. с $M=6.4$ в Бзыбско-Чхалтинской депрессии и Тебердинское 21.10.1905 г. с такой же магнитудой $M=6.4$ – в Домбайской депрессии [12].

Макросейсмические сведения. Оба Домбайских землетрясения произошли ночью в малонаселенном горном районе и поэтому сведения об их ощутимости довольно скудны. Известно, что землетрясение 26 марта ощущалось на верхних этажах зданий в Теберде, Домбае, Нижнем Архызе и Архызе.

Исторические сведения. Положение эпицентров наиболее сильных исторических и современных землетрясений показано на карте совместно с ближайшими станциями сети ФИЦ ЕГС РАН и основными разломными структурами (табл. 6, рис. 3). Известно [14], что в этой зоне произошли сильное семибалльное Тебердинское землетрясение 21 октября 1905 г. в $11^{\text{h}}01^{\text{m}}$ с $M=6.4$ и его сильнейший афтершок в $13^{\text{h}}20^{\text{m}}$ с $M=5.6$, которые первоначально были отнесены к Черноморско-Сухумскому очагу. Однако к моменту составления «Нового каталога сильных землетрясений на территории СССР», данные об этих землетрясениях были пересмотрены, составлены новые макросейсмические карты, по ним были определены параметры очага и магнитуда $M=6.4$, сделан вывод, что очаг находился в той же очаговой зоне, в которой позже произойдет Чхалтинское 1963 г. землетрясение [15] (рис. 3).

Таблица 6. Основные параметры Чхалтинского 16 июля 1963 г. и Тебердинского 21 октября 1905 г. землетрясений по данным [14]

Дата, д м г	t_0	φ°, N	λ°, E	$h,$ км	MLH	Примечание
06.03.1963	18 27 13.7 ± 2 с	43.25 ± 0.1	41.58 ± 0.1	5 ± 5	6.4 ± 0.2	Чхалтинское, $I_0=9$: 9–5 км/4п; 8–11 км/3п; 7–17 км/3п; 6–40 км/3п 5–85 км/14п; 4–150 км/12п 3–260 км/4п
21.10.1905	11 01 26 ± 10 с	43.3 ± 0.5	41.7 ± 0.5	35 17–70	6.4 ± 0.1	Тебердинское, $I_0=7$: 6 – 30 км/1п; 5 – 85 км/2п; 4–155 км/2п; 3 – 230 км/6п
21.10.1905	13 20 44 ± 10 с	43.6 ± 0.5	41.2 ± 0.5	32 16–64	5.6 ± 0.2	Афтершок Тебердинского, $I_0=(6)$

Примечание: /п – означает число населенных пунктов с указанной балльностью (в соответствии с форматом [14]).

Ранее Чхалтинско-Тебердинская зона характеризовалась сложностью получения инструментальной и макросейсмической информации о землетрясениях. В одной из недавних работ [16] А.А. Никонова и Л.Д. Флейфель отмечено, что наиболее значимой неясностью для установления соотношения с геологической структурой и толкования механизма очага Чхалтинского землетрясения является недостаточно точное определение позиции эпицентра и простираения длинных осей высших изосейст. По инструментальным данным в то время невозможно было добиться большей точности. В этой ситуации особое значение приобретает получение максимально полных макросейсмических данных, в первую очередь из эпицентральной области, чего в 60-е годы и позднее достичь не удавалось, ибо эпицентр находился в области альпийского высокогорья.

В 2011–2012 гг. в районе эпицентров Домбайского-I и Домбайского-II землетрясений наблюдались отдельные слабые события с $K_p < 9.4$, а перед первым Домбайским землетрясением 26 марта в $23^{\text{h}}35^{\text{m}}$ в течение четырех месяцев наблюдалось затишье.

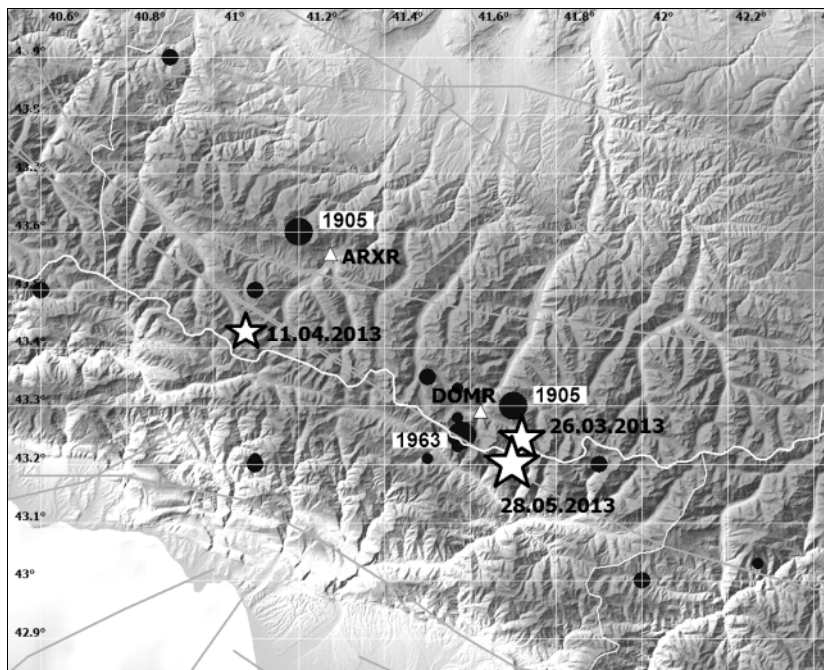


Рис. 3. Положение эпицентров сильнейших исторических землетрясений и 2013 г. вблизи Домбая
Серыми линиями показаны глубинные разломы по [12].

Выводы. Развитие сети ФИЦ ЕГС РАН в западной и центральной частях Северного Кавказа позволило снизить представительный магнитудный (энергетического класса) уровень землетрясений в этой зоне до $K_{\min}^{\text{пред}}=7$ [17] по сравнению с $K_{\min}^{\text{пред}}=9$ в 1963 г. и зарегистрировать слабые афтершоки ($K_p=3.5-8.8$) от Домбайских землетрясений, а также изучить свойства афтершокового процесса. В целом, несмотря на различающиеся магнитуды, афтершоковые процессы Домбайского-I и Домбайского-II землетрясений имеют подобные черты с афтершоковым процессом Чхалтинского землетрясения 1963 г. по относительно высокой скорости изменения интенсивности потока событий p и небольшому периоду (T) спада его активности в сутках от основного события по экспоненциальному закону Омори. Вероятно, эта характерная черта афтершокового процесса объясняется свойствами среды рассматриваемой тектонической зоны.

Оба Домбайских землетрясения имеют подобный землетрясению 1963 г. механизм очага, представленный взбросом под преобладающим действием сил сжатия, направленных субмеридионально, что является типичным для землетрясений на Большом Кавказе.

Домбайские землетрясения 2013 г. произошли в очаговой зоне, ранее известной проявлением здесь дважды с периодом в 58 лет разрушительных землетрясений с $M=6.4$: в 1905 г. с $I_0=7$ баллов и в 1963 г. с $I_0=9$ баллов. Дуплет землетрясений с $M_w=4.9$ и 5.2 произошел примерно через 50 лет после Чхалтинского землетрясения 1963 г., что может указывать на цикличность в высвобождении накопленной энергии, хотя в последний раз меньшего масштаба.

Зона заслуживает пристального внимания как имеющая высокую сейсмическую опасность (на карте ОСР 2015-А это 10-балльная зона).

Л и т е р а т у р а

1. Цхакая А.Д., Махатадзе Л.Н., Табидзе Д.Д. Чхалтинское землетрясение. – Тбилиси: «Мецниереба», 1967. – 54 с.
2. Габсатарова И.П., Малянова Л.С. (сост.). Каталог механизмов очагов землетрясений Северного Кавказа за 2013 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – Приложение на CD_ROM.
3. Балакина Л.М., Захарова А.И., Москвина А.Г., Чепкунас Л.С. Исследования механизмов очагов сильных коровых землетрясений Северной Евразии 1927–1991 гг. // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. – Вып. 1. – М.: ИФЗ РАН, 1993 – С. 123–131.

4. Шебалин Н.В. Очаги сильных землетрясений на территории СССР. – М.: Наука, 1974. – С. 32–33.
5. Малинова Л.С., Габсатарова И.П. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Северного Кавказа // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 311–319. doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.28
6. Цхакая А.Д., Махатадзе Л.Н., Табидзе Д.Д. Чхалтинское землетрясение 16 июля 1963 г. / Землетрясения в СССР в 1963 году. – М.: Наука, 1966. – С. 37–55.
7. Utsu T. A statistical study on the occurrence of aftershocks // Geoph. Magazine. – 1961. – 30. – P. 521–605.
8. Пшенинников К.В. Механизм возникновения афтершоков и неупругие свойства земной коры. – М.: Наука, 1965. – 86 с.
9. Татевосян Р.Э., Аптекман Ж.Я. Этапы развития афтершоковых последовательностей сильных землетрясений мира // Физика Земли. – 2008. – № 12. – С. 3–23.
10. Omori F. In the aftershocks of earthquakes // J. Coll. Sci. Imp. Univ. Tokyo. – 1894. – Vol. 7. – P. 111–200.
11. 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. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2014. – С. 90–95.
12. Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Лютиков А.И., Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Горбатилов А.В. Эндогенные опасности Большого Кавказа. – М.: ИФЗ РАН, 2014. – 256 с.
13. Несмеянов С.А. Неоструктурное районирование Северо-Западного Кавказа. – М.: Недра, 1992. – 254 с.
14. Бабаян Т.О., Кулиев Ф.Т., Папалашвили В.Г., Шебалин Н.В., Вандышева Н.В. (отв. сост.). П 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.
15. Лебедева Т.М., Папалашвили В.Г., Шебалин Н.В. Некоторые замечания о Черноморско-Сухумском землетрясении 21.X.1905 г. // Сейсмологический бюллетень Кавказа. 1974, январь–декабрь. – Тбилиси: «Мецниереба», 1976. – С. 127–135.
16. Никонов А.А., Флейфель Л.Д. 5, 7, 9 баллов. И более? (Чхалтинское землетрясение 1963 г.) // Свет. Природа и человек. – 2014. – № 9. – С. 43–45.
17. Габсатарова И.П., Артёмова Е.В., Каменская О.П., Королецки Л.Н. Северный Кавказ // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 79–94.

METADATA IN ENGLISH

**DOUBLET of DOMBAI EARTHQUAKES 2013 in FOCAL ZONE
of CHKHALTA EARTHQUAKE 1963**

I.P. Gabsatarova, L.N. Koroletski, L.S. Malyanova

GS RAS, Russia, Obninsk Russia, ira@gsras.ru

Abstract. Two Dombai earthquakes were recorded on March 26, 2013, at 23^h35^m with $K_p=11.9$ and on May 28, 2013, at 00^h09^m with $K_p=11.9$ (M_w GCMТ=4.9 and 5.2) in the focal area of two strong ($I_0=IX$ and $I_0=VII$ at MSK 64) Chkhalta of 1963 and Teberda of 1905 earthquakes. They were accompanied by aftershock processes. The estimates of dynamic parameters of foci (for March 26, 2013 then May 28, 2013): the rupture length is $L=3.4, 3.8$ km, the stress drop $\Delta\sigma=55, 79$ Pa, the apparent stress drop=1, 3 Pa, and the average displacement along the rupture $u=0.25, 0.33$ m, were obtained from the spectra of S-waves at “Anapa” and “Kislovodsk” stations. Earthquakes occurred under the action of near-horizontal ($PL=12^\circ, PL=18^\circ$) compressive stresses directed north-northeast ($AZM=21^\circ, AZM=30^\circ$). The nodal planes of both mechanisms have a similar strike. The type of movement in both foci is reverse fault with some strike – slip components. The stretches of nodal planes and the types of movements in the foci are in good agreement with the geodynamic setting of the axial structures of the Greater Caucasus, and also are similar to the mechanism of the destructive Chkhalta earthquake of 1963.

Keywords: Dombai earthquakes, strong Chkhalta earthquake, dynamic parameters of the source, source mechanism.

DOI: 10.35540/1818-6254.2019.22.32

For citation: Gabsatarova, I.P., Koroletski, L.N., & Malyanova, L.S. (2019). Doublet of the Dombai earthquakes of 2013, March 26 with $K_p=11.9$, $M_{w_{reg}}=5.3$ and May 28 with $K_p=11.6$, $M_{w_{reg}}=5.4$, in the focal zone of the Chkhaltal earthquake of 1963. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22 (2013), 362–369. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.32

References

1. Tskhakaya, A.D., Makhatadze, L.N., & Tabidze, D.D. (1967). *Chkhaltinskoe zemletriasenie* [Chkhaltinsky earthquake]. Tbilisi: Metsniereba Publ, 54 p. (In Russ.).
2. Gabsatarova, I.P., & Malyanova, L.S. (2019). Focal mechanisms parameters of earthquakes in the Northern Caucasus for 2013. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22 (2013), Appendix on CD. (In Russ.).
3. Balakina, L.M., Zakharova, A.I., Moskvina, A.G., & Chepkunas, L.S. (1994). [Investigations of the focal mechanisms of strong crustal earthquakes in Northern Eurasia in 1927–1991]. In *Seysmichnost' i seysmicheskoye rayonirovaniye Severnoy Yevrazii*. [Seismicity and seismic zoning of Northern Eurasia] (pp. 123–131). Moscow: IPE RAS Publ. (In Russ.).
4. Shebalin, N.V. (1974). *Ochagi sil'nykh zemletryaseny na territorii SSSR* [Foci of strong earthquakes in the USSR]. Moscow: Nauka Publ. (In Russ.).
5. Malyanova, L.S., & Gabsatarova, I.P. (2019). Spectral and focal earthquake parameters on Northern Caucasus. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22 (2013), 311–319. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.28
6. Tskhakaya, A.D., Makhatadze, L.N., & Tabidze, D.D. (1966). [Chkhaltinsky earthquake on July 16, 1963]. In *Zemletryaseniya v SSSR v 1963 godu*. [Earthquakes in the USSR in 1963] (pp. 37–55). Moscow: Nauka Publ. (In Russ.).
7. Utsu, T. (1961). A statistical study on the occurrence of aftershocks. *Geophys. Magazine*, 30, 521–605.
8. Pshennikov, K.V. (1965) *Mekhanizm vozniknoveniya aftershokov i neuprugiyeh svoystva zemnoy kory* [The mechanism of the occurrence of aftershocks and inelastic properties of the earth's crust]. Moscow: Nauka Publ., 86 p. (In Russ.).
9. Tatevosyan, R.E., & Aptekman, J.I (2008). Aftershock sequences of the strongest earthquakes of the world: Stages of development. *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, 44 (12), 945–964.
10. Omori, F. (1894). *On the after-shocks of earthquakes* (Vol. 7). The University.
11. Gabsatarova, I.P. (2014). *Roi i aftershoki na Severnom Kavkaze kak pokazatel' relaksatsionnykh svoystv sredy* [Swarms and aftershocks in the North Caucasus as an indicator of the relaxation properties of the medium]. In *Aktivnyye razlomy i ikh znachenie dlya otsenki seysmicheskoy opasnosti: sovremennoye sostoyaniye problemy. Materialy XIX nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem 7–10 oktyabrya 2014 g.* [Active faults and their importance for seismic hazard assessment: current state of the problem. Materials of the XIX scientific-practical conference with international participation October 7–10, 2014] (pp. 90–95). Voronezh: Publishing and Printing Center «Nauchnaya kniga» Publ. (In Russ.).
12. Rogozhin, E.A., Ovsyuchenko, A.N., Lyutikov, A.I., Sobisevich, A.L., Sobisevich, L.E., Gorbatiykov, A.V. (2014). *Endogennyye opasnosti Bol'shogo Kavkaza* [Endogenous hazards of the Greater Caucasus]. Moscow: IPE RAS Publ, 256 p. (In Russ.).
13. Nesmeyanov, S.A. (1992). *Neostrukturnoye rayonirovaniye Severo-Zapadnogo Kavkaza*. [Non-structural zoning of the North-West Caucasus]. Moscow: Nedra Publ, 254 p. (In Russ.).
14. Babayan, T.O., Kuliev, F.T., Papalashvili, V.G., Shebalin, N.V., & Vandysheva, N.V. (1977). II b. Caucasus [50–1974, $M \geq 4.0$, $I_0 \geq 5$]. In *Novyy katalog sil'nykh zemletryaseny na territorii SSSR s drevneyshikh vremen do 1975 g* [New catalog of strong earthquakes on the territory of the USSR from ancient times to 1975] (pp. 69–170). Moscow: Nauka Publ. (In Russ.).
15. Lebedeva, T.M., Papalashvili, V.G., & Shebalin, N.V. (1976). [Some remarks on the Black Sea-Sukhumsk earthquake of 21.X.1905]. In *Seysmologicheskiy byulleten' Kavkaza. 1974, yanvar'–dekabr'* [Seismological Bulletin of the Caucasus. 1974, January – December] (pp. 127–135). Tbilisi: Metsniereba Publ. (In Russ.).
16. Nikonov, A.A., & Fleyfel', L.D. (2014). [5, 7, 9 balls. And more? (Chkhaltinsky earthquake of 1963)]. *Svet. Priroda i chelovek* [Light. Nature and man.], 9, 43–45. (In Russ.).
17. Gabsatarova, I.P., Artyomova, E.V., Kamenskaya, O.P., & Koroletski, L.N. (2018) Northern Caucasus. *Earthquakes in Northern Eurasia*, 21 (2012), 79–94. (In Russ.).