

КОПЕТДАГ

Г. Ч. Сарыева¹, Н. В. Петрова², Л. В. Безменова¹¹Институт сейсмологии и физики атмосферы АН Туркменистана, г. Ашхабад, tm.seismology@online²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, npetrova@gsras.ru

Аннотация. В 2014 г. сейсмический мониторинг в Копетдагском регионе осуществлялся сетью из 29 сейсмических станций (из них 20 стационарных и девять передвижных) Государственной сейсмологической службы Академии наук Туркменистана (ГСС АНТ), которая в апреле вошла в состав вновь образованного Института сейсмологии и физики атмосферы АНТ. Всего за год зарегистрировано 225 землетрясений с $K_r \geq 8.6$, для 24 событий определены механизмы очагов. Продолжилась сейсмическая активизация в районе г. Магтымгулы, начавшаяся в апреле 2012 г. роом землетрясений и продолжившаяся в последующие годы серией землетрясений вдоль границ мобильных блоков земной коры на севере Иранской плиты, в зоне ее контакта с Евразией. 13 февраля 2014 г. в месте апрельского роя 2012 г. произошло самое сильное на территории Туркменистана землетрясение года с $K_r = 12.8$. Серия из более 2000 землетрясений с $K_r = 4-10$, зарегистрированная в июне 2014 г. в 60 км к востоку от этого землетрясения, указывает на продолжение сейсмической активизации и возможность возникновения сильных землетрясений в этом районе. В целом по Копетдагскому региону, в 2014 г. сейсмическая активность A_{10} и выделившаяся сейсмическая энергия ΣE вышли на фоновый уровень, после пониженных значений этих параметров по сравнению со среднегодовыми за период 1993–2013 гг., отмечавшихся в течение нескольких предыдущих лет.

Ключевые слова: сейсмическая активность, сейсмическая энергия, рой землетрясений, механизм очага, интенсивность сотрясений.

DOI: 10.35540/1818-6254.2020.23.07

Для цитирования: Сарыева Г.Ч., Петрова Н.В., Безменова Л.В. Копетдаг // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 82–91. doi: 10.35540/1818-6254.2020.23.07

Введение. В 2014 г. произошли изменения в структуре организаций, осуществляющих сейсмологические наблюдения на территории Туркменистана. Партия № 26 управления «Туркменгезлегеофизика», проводящая сейсмологические наблюдения в центральной части Туркменистана, была ликвидирована. В связи с этим в апреле 2014 г. на баланс Государственной сейсмологической службы Академии наук Туркменистана (ГСС АНТ) были переданы комплекты аппаратуры типа Дельта Геон, которые участвовали в мониторинге сейсмичности предыдущие годы. В июне, в связи с изменением структуры Академии наук Туркменистана, ГСС АНТ и Институт сейсмологии (ИС АНТ) были объединены в Институт сейсмологии и физики атмосферы АНТ (ИСиФА АНТ).

Сеть сейсмических станций. Мониторинг сейсмичности Копетдагского региона в 2014 г. осуществлялся сетью из 29 сейсмических станций, из них 20 стационарных и девять передвижных [1]. Одна стационарная станция была оснащена цифровой аппаратурой типа IRIS («Геокча»), на остальных 19 продолжала работать аналоговая аппаратура. На девяти из них («Даната», «Красноводск», «Небитдаг», «Кёнекесир», «Гаурдак», «Каракала», «Серахс», «Сунча», «Кушка») функционировали также комплекты цифровой сейсмической аппаратуры производства компании «GEOSIG», два из которых были установлены в начале 2014 г. («Сунча» и «Кушка») (рис. 1). Регистрация землетрясений комплектами «GEOSIG» осуществлялась параллельно с аналоговой аппаратурой с целью сравнительного анализа параметров землетрясений и оценки возможности замены в дальнейшем аналоговой аппаратуры цифровой. Стационарные наблюдения поддерживались сетью из девяти передвижных автономных цифровых станций типа Дельта Геон: «Чули», «Гермаб», «Ковата», «Изгант», «Мергеновля», «Арчман», «Маныш», «Сунча», «Гаудан».

Дальность регистрации землетрясений сетью сейсмических станций Туркменистана в 2014 г. соответствует карте энергетической представительности K_{3min} , построенной по методике [2] по состоянию на конец 2013 г. [3]. Согласно карте [3], в Туркмено-Хорасанском районе в 2013 г. без пропусков регистрировались землетрясения с представительного энергетического уровня $K_{3min}=7$, в Центрально-Каракумском – с $K_{3min}=8$, в Балхано-Каспийском – с $K_{3min}=8-9$, в Эльбурском районе и на большей части Восточного Туркменистана – с $K_{3min}=9$ (табл. 1).

Таблица 1. Координаты, площади сейсмоактивных районов и региона в целом, значения энергетической представительности регистрации землетрясений K_{3min} и K_{7min} по районам

№	Район	$\varphi_1^\circ - \varphi_2^\circ, N$	$\lambda_1^\circ - \lambda_2^\circ, E$	$S, 10^3 \text{ км}^2$	K_{3min}	K_{7min}
1	Балхано-Каспийский	38.5–42.0	51.0–55.5	149	8–9	8
2	Эльбурский	35.0–38.5	51.0–55.5	156	9	8
3	Туркмено-Хорасанский	35.0–39.5	55.5–61.0	243	7–8	7
4	Восточный Туркменистан	35.0–42.0	61.0–67.0	407	9–10	–
5	Центрально-Каракумский	39.5–42.0	55.5–61.0	130	8	–
	Копетдаг	35.0–42.0	51.0–67.0	1082	9	9

Исходные данные и методика обработки. При обработке записей землетрясений Копетдага, определении кинематических параметров, макросейсмических характеристик ощутимых землетрясений и механизмов очагов использовались методические приемы, описанные в [3]. Полнота регистрации и правильность обработки записей землетрясений контролировались сопоставлением каталога землетрясений Копетдага [4] с международными каталогами [5, 6]. Для пропущенных землетрясений с $K_p \geq 8.6$ сформирован дополнительный каталог [7], в котором расчетные энергетические классы $K_{расч}$ определены из магнитуд $m_b \text{ ISC}$, $m_b \text{ NNC}$, $M_L \text{ ТЕН}$ с помощью соотношений [8–10].

В каталоге [4] и на карте эпицентров землетрясений Копетдага (рис. 1) представлены 225 землетрясений с $K_p \geq 8.6$, зарегистрированных сейсмическими станциями Туркменистана в 2014 г., а также 22 землетрясения с $K_p \geq 8.6$ из дополнительного списка [7] (звездочки). Большинство дополнительных землетрясений локализовано в районе Восточного Туркменистана (№ 4), а также южнее Каспийского моря, за пределами Туркменистана. Главные причины пропусков землетрясений – большие эпицентральные расстояния до сейсмических станций Туркменистана и удаленность от его границ, снижающая вклад этих землетрясений в оценку сейсмической опасности на территории Туркменистана.

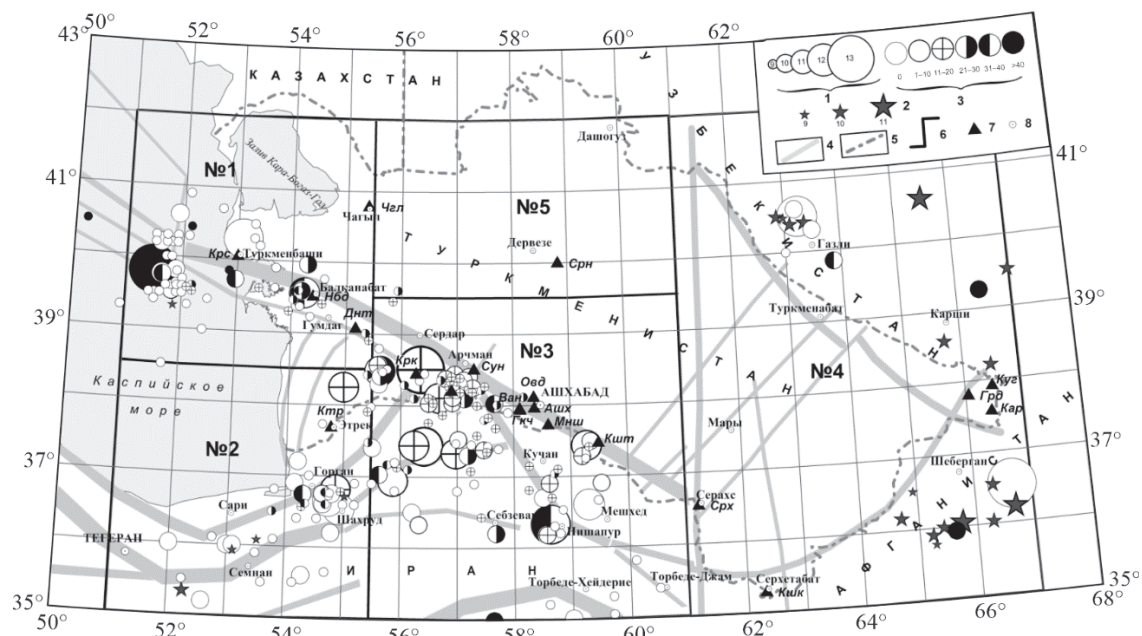


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Копетдага за 2014 г.

1 – энергетический класс K_p землетрясений из основного каталога [4]; 2 – расчетный энергетический класс $K_{расч}$ землетрясений из дополнительного списка [7]; 3 – глубина гипоцентра h , км (0 – глубина не определена); 4 – сейсмолинеамент; 5 – граница Туркменистана; 6 – граница сейсмоактивного района; 7 – стационарная сейсмическая станция; 8 – город.

Механизмы очагов 24 землетрясений, представленные в каталоге [11] и на рис. 2, определены совместно сотрудниками ИСиФА АНТ и филиала ИФЗ РАН Геофизической обсерватории

«Борок» (далее – КОП + ГО БОРОК) по знакам первых вступлений P -волн на сейсмических станциях Туркменистана, Ирана [6] и глобальной сети [5].

Анализ данных. Параметры сейсмического режима в 2014 г. на территории всего региона и отдельных сейсмоактивных районов представлены в табл. 2. Учитывались только землетрясения, произошедшие в районах, границы которых указаны в табл. 1. В числителе приведено число землетрясений из основного каталога [4], составленного по данным сети сейсмических станций Туркменистана, в знаменателе – с учетом дополнительных землетрясений из списка [7]. Годовые значения выделенной сейсмической энергии ΣE , наклона графика повторяемости γ и сейсмической активности A_{10} рассчитаны для землетрясений основного каталога [4].

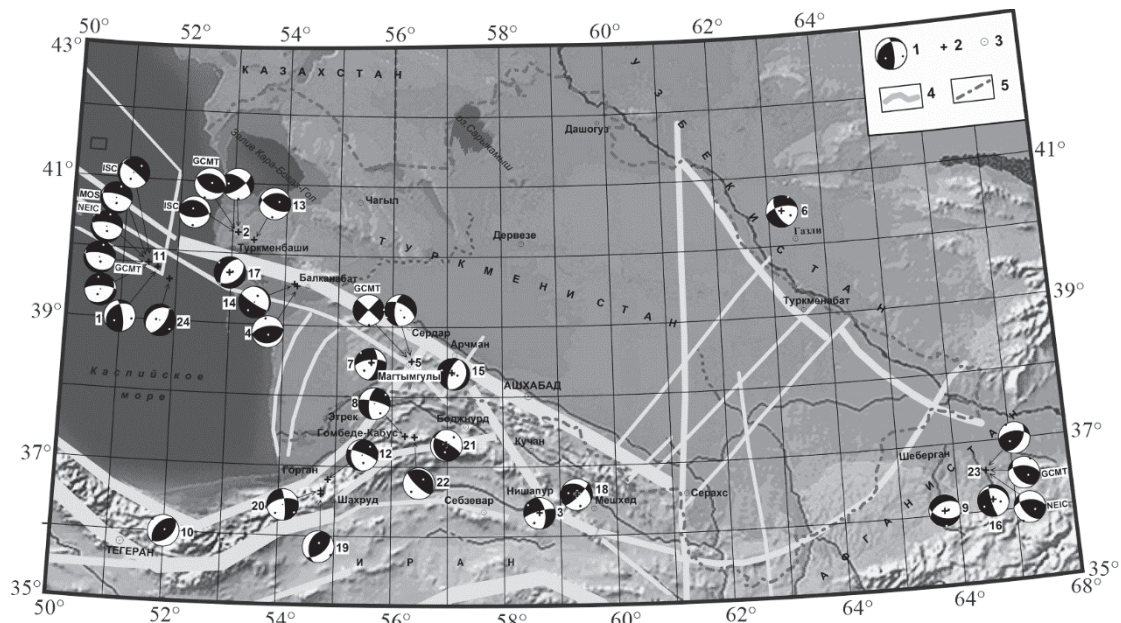


Рис. 2. Диаграммы механизмов очагов землетрясений Копетдага в 2014 г. в проекции нижней полусферы

1 – диаграмма, зачернены области сжатия (номер рядом с диаграммой соответствует номеру механизма очага в [11]; при наличии альтернативных решений рядом с диаграммой указан код агентства) 2 – эпицентр; 3 – город; 4 – сейсмолинеамент; 5 – государственная граница.

Таблица 2. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам K_p , суммарная сейсмическая энергия ΣE и параметры сейсмического режима A_{10} и γ в сейсмоактивных районах Копетдагского региона в 2014 г.

№	Район	K_p						N_Σ	$\Sigma E, \cdot 10^{12} \text{ Дж}$	γ	A_{10}	ΔK^1
		8	9	10	11	12	13					
1	Балхано-Каспийский	159	55	8	1	1	1	225	5.886	0.49	0.076	8–13
2	Эльбурский	54	$\frac{27}{30}$	$\frac{13}{14}$	4	–	–	98	0.825	0.41	0.072	9–11
3	Туркмено-Хорасанский	188	65	27	7	2	1	290	8.323	0.47	0.0914	8–13
4	Восточный Туркменистан	3	$\frac{1}{4}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{0}{3}$	1	1	11	32.975	0.25	0.011	10–13
5	Центрально-Каракумский	2	1	–	–	–	–	3	0.001	–	–	–
	Копетдаг	406	$\frac{149}{155}$	$\frac{53}{65}$	$\frac{12}{15}$	4	3	627	48.009	0.45	0.0425	9–13

Для анализа особенностей сейсмического режима в Копетдагском регионе в 2014 г. в сравнении с долговременными средними параметрами рассчитаны среднегодовые за 22-летний период (1992–2014 гг.) значения чисел землетрясений N с $K_p=8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16$, N_Σ с $K_p=9-16$, а также логарифм выделенной сейсмической энергии $\lg \Sigma E$, сейсмической активности

¹ Диапазон энергетических классов, для которого определены параметры графика повторяемости γ и A_{10} .

A_{10} и наклона графика повторяемости γ . Исходные данные и результаты расчетов приведены в табл. 3. На рис. 3 показан временной ход параметров $\lg\Sigma E$, A_{10} и γ в сравнении с их средними значениями за период 1992–2014 гг. При этом средние значения рассчитаны с исключением данных за 1997 г. и 2000 г., когда ΣE и A_{10} были повышенными в связи с реализацией крупнейших за указанный период Боджнурдского 1997 г. [12] и Балханского 2000 г. [13] землетрясений с $MS=6.6$ и 7.3 соответственно.

Таблица 3. Годовые значения чисел N землетрясений разных энергетических классов K_p , суммарной сейсмической энергии ΣE , сейсмической активности A_{10} и наклона графика повторяемости γ в Копетдагском регионе в 1992–2014 гг.

Год	K_p								N_{Σ} (9–16)	$\lg\Sigma E$, (Джс)	A_{10}	γ
	8	9	10	11	12	13	14	16				
1992	343	148	36	17	2	2	1	0	206	13.9	0.09	0.43
1993	325	157	55	23	11	1	0	0	247	13.4	0.05	0.51
1994	333	176	77	16	4	4	1	0	278	14.2	0.045	0.45
1995	228	95	40	11	1	2	0	0	149	13.1	0.028	0.5
1996	210	98	52	20	3	1	0	0	174	13.1	0.035	0.5
1997	1170	482	139	57	9	2	1	1	691	15.6	0.14	0.57
1998	363	173	49	10	2	1	0	0	235	13.2	0.043	0.57
1999	278	161	65	19	11	3	1	0	260	13.9	0.057	0.44
2000	763	304	94	31	6	4	2	1	442	16.5	0.082	0.44
2001	383	158	54	19	2	1	2	0	236	14.6	0.045	0.58
2002	279	143	42	21	5	0	0	0	211	12.8	0.045	0.47
2003	297	150	52	22	3	1	0	0	228	13.3	0.047	0.56
2004	357	159	64	24	6	2	1	0	256	14.1	0.063	0.51
2005	362	183	44	12	5	3	0	0	247	13.4	0.043	0.44
2006	320	117	40	12	2	2	0	0	173	13.4	0.033	0.48
2007	354	154	51	10	6	0	0	0	221	12.9	0.043	0.49
2008	312	172	49	11	6	0	0	0	238	12.8	0.041	0.51
2009	283	120	46	18	1	1	0	0	186	12.9	0.035	0.54
2010	274	131	36	17	5	2	1	0	192	13.9	0.038	0.42
2011	251	140	47	12	2	0	0	0	201	12.8	0.037	0.61
2012	271	109	44	16	4	1	0	0	174	13.3	0.038	0.51
2013	262	104	31	20	3	0	0	0	158	12.8	0.032	0.46
2014	406	149	53	12	4	3	0	0	221	13.7	0.043	0.45
$\Sigma/22$	383	172	57	20	5	1.6	0.45	0.1	248	13.7	0.051	0.50
$\Sigma^*/20$	309	143	49	16	4	1.4	0.33	0	216	13.4	0.044	0.50

Σ – суммарные значения параметров сейсмического режима за 22-летний период (1992–2014 гг.).

Σ^* – суммарные значения параметров сейсмического режима за 1992–2014 гг. без учета данных за 1997 и 2000 гг.

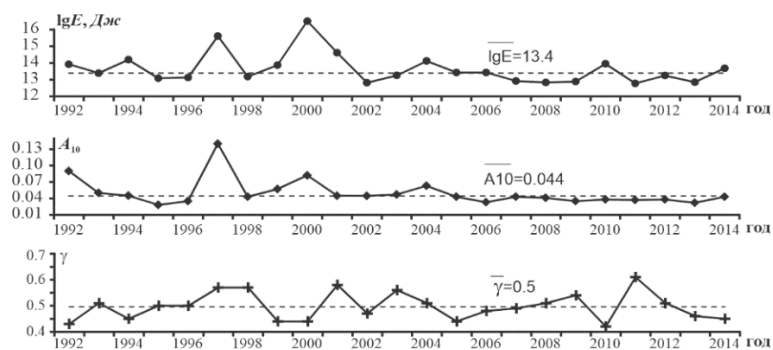


Рис. 3. Временной ход годовых значений параметров $\lg\Sigma E$, A_{10} и γ в Копетдагском регионе

Пунктирной линией показаны средние значения параметров за период с 1992 по 2014 гг. без учета сейсмических активизаций в 1997 г. и 2000 г., связанных, соответственно, с реализацией Боджнурдского, $MS=6.7$ [12] и Балханского, $MS=7.3$ [13] землетрясений.

Как видно из рис. 3 и табл. 3, после длительного периода пониженной сейсмической активности в 2009–2013 гг. и дефицита выделившейся сейсмической энергии в 2007–2013 гг. (за исключением максимума 2010 г., связанного с возникновением Кух-Зарского землетрясения с $M_w=5.8$ [14] на южной границе региона), в 2014 г. параметры A_{10} и ΣE вышли на фоновый уровень. Это отражается и в близости к среднегодовым значениям числа землетрясений с $K_p=9-12$. Существенное превышение в 2014 г. числа землетрясений с $K_p=8$ над среднегодовым мы объясняем введением в действие на ряде станций высокочувствительной аппаратуры GEOSIG.

В Балхано-Каспийском районе (№ 1) сейсмический процесс протекал значительно интенсивнее, чем в 2013 г., что выразилось в возникновении здесь двух землетрясений с $K_p=12$ и $K_p=13$ при отсутствии событий с подобной энергией в 2013 г. Однако по сравнению с долговременным средним значением сейсмической активности в этом районе за период 1966–2006 гг. ($A_{10}=0.11$) [15], значение $A_{10}=0.076$ в 2014 г. остается пониженным при почти неизменном значении наклона графика повторяемости ($\gamma=0.49$ в 2014 г., $\gamma=0.5$ – среднее за 1966–2006 гг.).

14 января в 13^h55^m севернее г. Туркменбаши произошло землетрясение с $K_p=11.6$, сопровождавшееся небольшим числом афтершоков, что характерно для сейсмических событий в консолидированной земной коре Кубадаг-Большебалханского блока, локализованного на континентальной части западного фланга Копетдаг-Большебалханского сейсмолинеамента и севернее. Землетрясение ощущалось с интенсивностью до 3 баллов в г. Туркменбаши и до 2 баллов в г. Балканабат. Механизм очага (№ 2 на рис. 2) – правый взбросо-сдвиг по плоскости $NP2$ северо-западного простирания, круто падающей на северо-восток, – типичен для данного района.

8 февраля в 01^h11^m произошло землетрясение с $K_p=11.5$ в 10 км от г. Балканабат, где оно ощущалось с интенсивностью I_i до 3–4 баллов. Подвижка в очаге (№ 4 на рис. 2) произошла по субширотной плоскости и представляла собой либо надвиг по пологой плоскости $NP1$, падающей на север, либо взброс по крутой плоскости $NP2$ с падением на юг.

7 июня в 06^h05^m в Каспийской сейсмоактивной зоне, в месте пересечения самого южного из параллельных сейсмолинеаментов северо-западного простирания с меридиональным Каспийским разломом (рис. 2), произошло сильное землетрясение с $K_p=12.7$, $M_s=5.0$, $h=53$ км, сопровождавшееся большим количеством афтершоков. Три самых сильных из них имели энергетические классы $K_p=10$. Землетрясение ощущалось с интенсивностью 3 балла на территории Туркменистана (г. Туркменбаши, 133 км), а также в городах Азербайджана (Нардаран, 149 км; Баку, 153 км; Ходжасан, 159 км; Корат, 172 км) и в столице Ирана (Тегеран, 460 км). Решения механизма очага этого землетрясения (№ 11 на рис. 2), полученные, помимо КОП+ГО БОРОК, еще четырьмя агентствами (MOS, GCMT, NEIC и ISC) [5, 11], близки для крутой плоскости $NP1$ запад–северо-западной ориентации, падающей на север, по которой произошел сброс. Простирание второй плоскости $NP2$ колеблется от северо-восточного (КОП+ГО БОРОК) до юго-восточного (MOS, GCMT, NEIC) и субмеридионального (ISC), с пологим падением на юг по данным всех агентств. Сброс по крутой плоскости с падением на север в очаге землетрясения № 11 согласуется с представлениями о субдукции Южно-Каспийской плиты под Центральный Каспий [16], в результате чего Южно-Каспийская плита изгибается, приводя к созданию ориентированных субмеридионально напряжений растяжения в месте возникновения землетрясения № 11.

В Эльбурском районе (№ 2) продолжилось снижение выделенной сейсмической энергии, отмеченное в 2013 г. [3] ($\Sigma E=0.82 \cdot 10^{12}$ Дж вместо $1.43 \cdot 10^{12}$ Дж в 2013 г.), что выразилось в отсутствии здесь в 2014 г. событий с $K_p \geq 12$. Сейсмическая активность ($A_{10}=0.072$) и общее количество землетрясений всех энергетических классов ($N=98$), наоборот, повысились по сравнению с $A_{10}=0.031$ и $N=53$ в 2013 г.

За год в районе № 2 зарегистрировано четыре землетрясения с $K_p=11$. Одно из них, 10 января в 23^h07^m с $K_p=10.6$, произошло на территории Туркменистана в 65 км к северу от пос. Этрек. Три других, 13 июня в 09^h12^m, 6 сентября в 21^h34^m и 7 сентября в 08^h12^m, локализованы на иранской территории юго-восточнее г. Горган и связаны, вероятно, с продолжением активизации сейсмического процесса на кулисообразно подставляющих друг друга разломах северо-восточного и субширотного простирания – Дамганском, Астане, Шарварском (рис. 4). 21 марта 2013 г. вблизи пересечения Дамганского разлома с разломом Астане произошло максимальное в районе № 2 в 2013 г. землетрясение с $K_p=12.1$, а в 2014 г. активизация наблюдалась на северо-восточном продолжении этой разломной зоны, в месте изгиба надвигового Шарварского разлома (рис. 4).

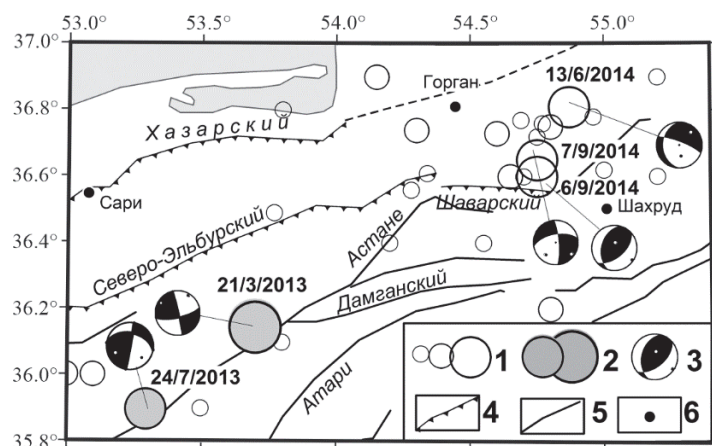


Рис. 4. Активизация сейсмического процесса в 2013 – 2014 гг. в районе Дамганского и Шаварского разломов на иранской территории Эльбурского района

1 – эпицентры событий 2014 г. с $K_p=9, 10, 11$; 2 – то же, для событий 2013 г. с $K_p=11, 12$; 3 – механизм очага; 4 – разлом надвигового типа [17]; 5 – разлом без указания типа [17]; 6 – город.

Для всех событий с $K_p=11$ в районе Эльбурса, показанных на рис. 4, определены механизмы очага. Большинство из них имеют суще-

ственную сдвиговую компоненту, причем по плоскостям, близким к северо-восточной ориентации разломов (землетрясения 21 марта 2013 г. с $K_p=12.1$ и 7 сентября 2014 г. с $K_p=10.9$), произошли левосторонние сдвиги, типичные для подвижек по разломам в этой части Эльбурса. Исключение составляет взбросо-надвиговая подвижка в очаге землетрясения 6 сентября с $K_p=11.5$ по плоскости северо-восточного простирания, совпадающей с ориентацией восточной части Шаварского разлома.

В Туркмено-Хорасанском районе (№ 3) в 2014 г. сейсмическая активность ($A_{10}=0.091$) и выделенная сейсмическая энергия ($\Sigma E=8.32 \cdot 10^{12}$ Дж) повысились по сравнению с аналогичными данными 2013 г. ($A_{10}=0.083$, $\Sigma E=4.86 \cdot 10^{12}$ Дж), однако оставались низкими в сравнении с долговременными средними параметрами сейсмического режима. Так, среднегодовое значение сейсмической активности за 41-летний период (1966–2006 гг.) в районе № 3 составляет $A_{10}=0.14$ [15].

Одной из традиционно сейсмически активных зон на рассматриваемой территории является район южнее пос. Арчман (блок №1 на рис. 5 а), где стыкуются Копетдаг-Большебалханский, Гермабский сейсмолинеаменты северо-западного простирания и секущий их более мелкий сейсмолинеамент северо-восточной ориентации [16] (рис. 2, 5 а). Зона расположена на вершине выгнутой на север дуги Туркмено-Хорасанских гор, в месте смены ориентации разломов оперения зоны Главного Копетдагского разлома (главный разлом Копетдаг-Большебалханского сейсмолинеамент) с северо-западной, прослеживаемой восточнее долготы п. Арчман, на северо-восточную. Подвижки по глубинному Главному Копетдагскому разлому, разделяющему Евразийскую и Иранскую плиты, затруднены из-за ориентированного на север–северо-восток регионального сжатия, ортогонального его простиранию. Вследствие этого эпицентры слабых и умеренных землетрясений чаще приурочены к разломам оперения. Типичный механизм таких подвижек – сдвиг, с компонентами сброса для подвижек по разломам северо-восточной ориентации. Вдоль сейсмолинеамента северо-восточной ориентации ($I-I'$ на рис. 5 а) обычно выстраиваются цепочки эпицентров землетрясений, как это было при крупном сейсмическом событии 28 августа 2000 г. с $K_p=14$ [18].

Концентрация большого количества сейсмических событий прослеживается вблизи этого сейсмолинеамента и в 2014 г. Здесь 8–18 июня зарегистрирована серия землетрясений, пять максимальных событий в которой имели близкие энергетические классы $K_p=9.2-9.9$, что позволяет отнести ее, согласно классификации Арефьева [19] ($\Delta M_s \leq 0.4$, $\Delta K_p \leq 0.7$), к роевой последовательности. Всего в июне здесь зарегистрировано беспрецедентное количество землетрясений с $K_p=4-10$ – более 2000. Три из них, с $K_p=10$, ощущались в ближайшем пос. Кёнекесир с интенсивностью от 2 до 4 баллов. Решение механизма очага землетрясения, произошедшего 26 июля в $01^h 46^m$ с $K_p=9.8$ в месте реализации июньского роя (№ 15 на рис. 2), указывает на сбросовую подвижку по плоскости, параллельной ориентации сейсмолинеамента $I-I'$.

Самое сильное землетрясение года в Туркмено-Хорасанском районе произошло 13 февраля в $01^h 11^m$ с $K_p=12.8$ на границе блоков № 1 и № 2 (рис. 5 а). В г. Магтымгулы, расположенном в 10 км к юго-западу от эпицентра, оно ощущалось с интенсивностью до 4 баллов. Это землетрясение явилось продолжением активизации сейсмичности в районе г. Магтымгулы, начавшейся в 2012 г. роем из 50 слабых землетрясений с $K_p=5.4-9.3$, локализованных чуть южнее эпицентра

землетрясения 13 февраля 2014 г. (рис. 5 а). После апрельского роя 2012 г. сейсмичность переместилась на запад, где в течение 2012–2013 гг. южная и, особенно, северо-западная границы блока № 2 прорабатывались сейсмическими подвижками, причем события группировались в афтершоковые последовательности, часто не отличимые от роя, поскольку в происходящей в течение нескольких дней последовательности землетрясений присутствовало несколько максимальных толчков с близкой энергией. Среди описываемых сейсмических событий в юго-западном углу блока № 2 два максимальных события имели энергетические классы $K_p=12$, шесть – $K_p=11$ (рис. 5 а, б). Надо отметить, что северная и восточная границы блока № 2 определены по положению Копетдаг-Большебалханского и Эльбурс-Копетдагского сейсмолинеаментов, тогда как южная и западная – по положению и линиям миграции эпицентров землетрясений. Блок делится на северную и южную части Прибалхано-Апшеронским (Внутрикопетдагским) сейсмолинеаментом, однако в течение 2012–2014 гг. эта граница была неактивна и не подтвердилась ни одним землетрясением с $K_p \geq 8.6$ в центральной части блока. В то же время цепочка афтершоков землетрясения 9 декабря 2013 г. с $K_p=12.4$, локализованного в юго-западном углу блока № 2, выстроилась в северо-восточном направлении, пересекая под прямым углом Прибалхано-Апшеронский сейсмолинеамент и отмечая западную границу блока, которая прослеживается вплоть до Копетдаг-Большебалханского сейсмолинеамента [3] (рис. 5 а).

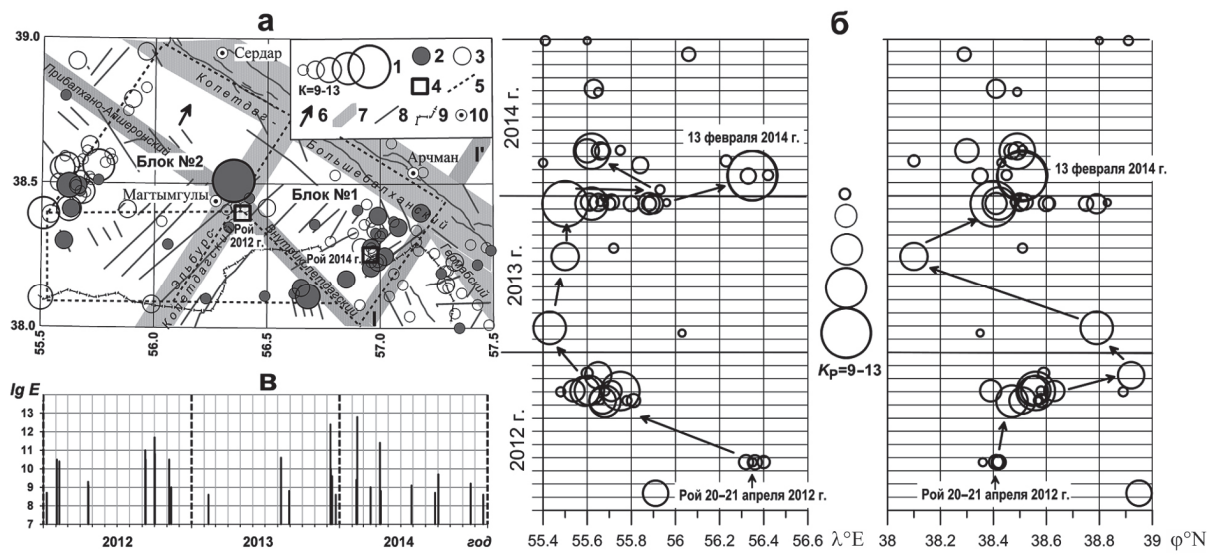


Рис. 5. а) Карта эпицентров землетрясений 2012–2014 гг. в районе гг. Магтымгулы и Арчман;
 б) пространственно-временное распределение эпицентров землетрясений в районе г. Магтымгулы ($\varphi^{\circ}N=38-39$, $\lambda^{\circ}E=55.4-56.6$) в проекции на долготу и широту;
 в) выделение сейсмической энергии ($lg E$) во времени в этом же районе в 2012–2014 гг.

1 – энергетические классы K_p ; 2 – эпицентры землетрясений 2014 г.; 3 – то же, 2012–2013 гг.; 4 – расположение роев землетрясений 20–21 апреля 2012 г. и 8–18 июня 2014 г.; 5 – предполагаемые по расположению сейсмолинеаментов и эпицентров землетрясений границы блоков земной коры; 6 – направление регионального поля напряжений сжатия; 7 – сейсмолинеамент [16]; 8 – активный разлом; 9 – государственная граница; 10 – город.

По данным КОП+ГО БОРОК, в очаге толчка 13 февраля 2014 г. с $K_p=12.8$ произошел правый сбросо-сдвиг по плоскости северо-западного простирания или левый – по близмеридиональной (№ 5 на рис. 2). Решение GСMT дает чистый сдвиг по крутой плоскости юго- или северо-западного простирания (рис. 2). Обе нодальные плоскости по простиранию близки к ориентации Эльбурс-Копетдагского или Прибалхано-Апшеронского (Внутрикопетдагского) сейсмолинеаментов и выбрать главную плоскость разрыва в очаге нет оснований.

В Восточном Туркменистане (№ 4) выделенная в 2014 г. сейсмическая энергия возросла по сравнению с таковой в 2013 г. из-за реализации двух сильных землетрясений с $K_p=12$ и 13.

Самое крупное сейсмическое событие года в районе № 4 и в Копетдагском регионе в целом произошло 22 ноября в 13^h45^m с $K_p=13.5$ на северо-западе Афганистана, в 80 км к востоку от г. Шеберган. В приграничных поселках на территории Туркменистана (Гарлык, 121 км; Магданлы, 152 км; Койтен, 155 км) землетрясение ощущалось с интенсивностью 2 балла. Решение

механизма очага, помимо КОП+ГО БОРОК, представлено в [11] по данным GСMT [20] и NEIC [21]. Решения GСMT и NEIC идентичны, все три агентства дают одинаковый тип подвижки в очаге – взброс с компонентами сдвига по крутым плоскостям – и субширотную ориентацию одной из нодальных плоскостей. Другая плоскость, по решению КОП+ГО БОРОК, имеет северо-восточное простирание, а по данным GСMT и NEIC – юго-восточное.

Второе по энергии землетрясение в районе № 4, 21 марта в 17^h31^m с $K_p=12.1$, локализовано на территории Узбекистана, в традиционно активной Газлийской очаговой зоне. По данным КОП+ГО БОРОК [11], в очаге произошел левый сбросо-сдвиг по плоскости юго-западного простирания, или правый сбросо-сдвиг по субширотной плоскости.

Заключение. После нескольких лет пониженной сейсмической активности и выделившейся на территории Копетдагского региона сейсмической энергии, в 2014 г. эти параметры вышли на фоновый уровень, установленный как средние значения этих параметров за период 1993–2013 гг. Самое сильное сейсмическое событие года в Копетдагском регионе произошло 22 ноября с $K_p=13.5$ на северо-западе Афганистана, в 80 км к востоку от г. Шеберган. В приграничных поселках Туркменистана оно ощущалось с интенсивностью 2 балла. Самым значительным сейсмическим событием в 2014 г. на территории Туркменистана стало землетрясение 13 февраля с $K_p=12.8$ около г. Магтымгулы. Оно продолжило сейсмическую активизацию в этом районе, начавшуюся в апреле 2012 г. с роевой последовательности вблизи эпицентра землетрясения 13 февраля 2014 г. Рой из более 2000 землетрясений с $K_p=4–10$, зарегистрированный в соседнем блоке земной коры в июне 2014 г., указывает на продолжение сейсмической активизации и возможность возникновения сильных землетрясений в указанном районе.

Л и т е р а т у р а

1. Безменов Е.Н., Сарыева Г.Ч., Петрова Н.В., Безменова Л.В. Сейсмические станции Копетдага и их параметры в 2014 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – Приложение на CD-ROM.
2. Петрова Н.В., Абасеев С., Сарыева Г.Ч. Методы оценки K_{min} при регистрации землетрясений цифровыми и аналоговыми станциями Туркменистана // Землетрясения Северной Евразии, 2007 г. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 458–467.
3. Сарыева Г.Ч., Петрова Н.В., Безменова Л.В. Копетдаг // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 96–107. doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.08
4. Сарыева Г.Ч. (отв. сост.), Тачов Б., Халлаева А.Т., Дурасова И.А., Эсенова А., Петрова Н.В. Каталог землетрясений Копетдага за 2014 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – Приложение на CD-ROM.
5. International Seismological Centre (2020), On-line Bulletin, <https://doi.org/10.31905/D808B830>
6. Iranian Seismological Centre. Online Databank. – URL: <http://irsc.ut.ac.ir/bulletin.php>
7. Петрова Н.В., Безменова Л.В., Артёмов Е.В. Дополнительный список землетрясений, не вошедших в основной каталог землетрясений Копетдага за 2014 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – Приложение на CD-ROM.
8. Петрова Н.В. Соотношения между оценками величины землетрясений Копетдага по данным различных сейсмологических центров // Землетрясения Северной Евразии, 2004 г. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 409–417.
9. Петрова Н.В., Безменова Л.В., Сарыева Г.Ч., Чарыев М.М. Копетдаг // Землетрясения Северной Евразии, 2005 год. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 112–127.
10. Петрова Н.В., Сарыева Г.Ч. Сравнительный анализ параметров землетрясений Копетдага в каталогах стран Средней Азии и ISC // Материалы XII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 269–273.
11. Петров В.А., Безменова Л.В. (отв. сост.), Петрова Н.В., Артёмов Е.В., Лукаш Н.А. Каталог механизмов очагов землетрясений Копетдага за 2014 год // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – Приложение на CD-ROM.
12. Гаипов Б.Н., Голинский Г.Л., Петрова Н.В., Ильясов Б.И., Мурадов Ч.М., Рахимов А.Р., Безменова Л.В., Гарагозов Д., Ходжаев А., Баймурадов К., Рахманова М.С. Боджнурдское землетрясение 4 февраля 1997 г. с $M_S=6.6$, $I_0=8$ (Копетдаг) // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. – Обнинск: ГС РАН, 2003. – С. 199–218.

13. Гаипов Б.Н., Петрова Н.В., Голинский Г.Л., Безменова Л.В., Рахимов А.Р. Балханское землетрясение 6 декабря 2000 г. с $MS=7.3$, $I_0=8-9$ (Копетдаг) // Землетрясения Северной Евразии в 2000 году. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 306–320.
14. Петрова Н.В. Кух-Зарское землетрясение 27 августа 2010 г. с $K_p=13.8$, $M_w=5.8$, $I_0=7-8$ (Эльбурский район Копетдага) // Землетрясения Северной Евразии, 2010 год. – Обнинск: ГС РАН, 2016. – С. 361–370.
15. Петрова Н.В., Аннаоразова Т.А., Безменова Л.В., Сарыева Г.Ч., Чарыев М.М. Копетдаг // Землетрясения Северной Евразии, 2006 год. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 97–107.
16. Balassanian S. et al. Seismic hazard assessment for the Caucasus test area // *Annals of Geophysics*. – 1999. – Т. 42. – № 6.
17. Hessami, Kh., Jamali, F., Tabassi, H. Major active faults of Iran. Scale 1:2.500.000 // Ministry of Science, Research and Technology. International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES). Seismotectonic Department. Seismology Research Center. – URL: http://neotec.ginras.ru/neomaps/M025_Iran_2003_Active-faults_Karta-glavnyh-aktivnyh-razlomov-irana.html
18. Гаипов Б.Н., Петрова Н.В., Голинский Г.Л., Рахимов А.Р., Сарыева Г.Ч. Копетдаг // Землетрясения Северной Евразии, 2000 год. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 95–109.
19. Арефьев С.С. Форшоки, афтершоки и рои землетрясений // *Физика Земли*. – 2002. – № 1. – С. 60–77.
20. Global Centroid Moment Tensor (GCMT) Catalog Search [Site]. – URL: <http://www.globalcmt.org/>
21. National Earthquake Information Center and Data Center for Seismology, Denver. – URL: <http://earthquake.usgs.gov/regional/neic>

КОПЕТДАГ

G.Ch. Saryeva¹, N.V. Petrova², L.V. Bezmenova¹

¹*Institute of Seismology and Atmospheric Physics of the Academy of Sciences of Turkmenistan, Ashgabat, Turkmenistan, tm.seismology@online*

²*Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Obninsk, Russia, npetrova@gstras.ru.tm*

Abstract. In 2014, seismic monitoring in the Kopetdag region was carried out by a network of 29 seismic stations (20 stationary and nine mobile stations) of the State Seismological Service of the Academy of Sciences of Turkmenistan (SSS ANT), which in April became part of the newly formed Institute of Seismology and Atmospheric Physics, ANT. In total, 225 earthquakes with $K_p \geq 8.6$ were recorded during the year, and focal mechanisms for 24 events were determined. Seismic process intensification continued around the town of Magtymguly. This began in April 2012 with earthquake swarm and continued in 2012–2014 with a series of earthquakes along the borders of the mobile blocks of the earth's crust in the north of the Iranian plate, at the zone of its contact with Eurasia. On February 13 the strongest earthquake in Turkmenistan in 2014 with $K_p=12.8$ occurred. It was located near the place of the April 2012 swarm. In June 2014 a series of more than of more than 2000 earthquakes with $K_p=4-10$ was recorded 60 km east of this earthquake. This indicates a continued seismic activity and the possibility of strong earthquakes here. In the Kopetdag region as a whole, the seismic activity A_{10} and the seismic energy ΣE released for 2014 reached the background level, after lowering of these parameters noted over the past several years compared to the average annual values for the period 1993–2013.

Keywords: seismic activity, seismic energy, swarm of earthquakes, focal mechanism, shaking intensity.

DOI: 10.35540/1818-6254.2020.23.07

For citation: Saryeva, G.Ch., Petrova, N.V., & Bezmenova, L.V. (2020). [Kopetdag]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), 82–91. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2020.23.07

R e f e r e n c e s

1. Bezmenov, E.N., Saryeva, G.Ch., Petrova, N.V., & Bezmenova, L.V. (2020). [Kopetdag seismic stations and their parameters in 2014]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), Appendix on CD. (In Russ.).
2. Petrova, N.V., Abaseev, S., & Saryeva, G.Ch. (2013). [Methods for estimating K_{min} at registration of earthquakes with digital and analog stations of Turkmenistan]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii, 2007 god* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2007] (pp. 458–467). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
3. Saryeva, G.Ch., Petrova, N.V., & Bezmenova, L.V. (2019). [Kopetdag]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22(2013), 96–107. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.08

4. Saryeva, G.Ch., Tachov, B., Hallaeva, A.T., Durasova, I.A., Esenova, A., & Petrova, N.V. (2020). [Catalog of Kopetdag earthquakes for 2014. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23 (2014), Appendix on CD. (In Russ.).
5. International Seismological Centre (2020). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
6. Iranian Seismological Centre. Online Databank. (2020). Retrieved from <http://irsc.ut.ac.ir/largevents.php>
7. Petrova, N.V., Bezmenova L.V., & Artemova, Ye.V. (2020). [Additional list of earthquakes not included in the main catalog of Kopetdag earthquakes for 2014. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), Appendix on CD. (In Russ.).
8. Petrova, N.V. (2010). [Relations between estimates of the magnitude of Kopetdag earthquakes according to data from various seismological centers]. In *Zemletryaseniia Severnoi Evrazii, 2004 god* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2004] (pp. 409–417). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
9. Petrova, N.V., Bezmenova, L.V., Saryeva, G.Ch., & Charyyev, M.M. (2011). [Kopetdag]. In *Zemletryaseniia Severnoi Evrazii, 2005 god* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2005] (pp. 112–127). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
10. Petrova, N.V., & Saryeva, G.Ch. (2017). [A comparative analysis of parameters of Kopetdag earthquakes in catalogs of Central Asia countries and ISC]. In *Materialy XII Mezhdunarodnoi seismologicheskoi shkoly "Sovremennye metody obrabotki seismologicheskikh dannykh"* [Proceedings of the XIII International Seismological Workshop "Modern Methods of Processing and Interpretation of Seismological Data"] (pp. 269–273). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
11. Petrov, V.A., Bezmenova, L.V., Petrova, N.V., Artemova, Ye.V., & Lukash, N.A. (2020). [Catalog of focal mechanisms of Kopetdag earthquakes for 2014. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), Appendix on CD. (In Russ.).
12. Gaipov, B.N., Golinsky, G.L., Petrova, N.V., Ilyasov, B.I., Muradov, Ch.M., Rakhimov, A.R., Bezmenova, L.V., Garagozov, D., Khodjaev, A., Baimuradov, K., & Rakhmanova, M.S. (2003). [Bojnurd earthquake on February 4, 1997 with $M_S=6.6$, $I_0=8$ (Kopetdag)] In *Zemletryaseniia Severnoi Evrazii, 1997 god* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2010] (pp. 199–218). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
13. Gaipov, B.N., Petrova, N.V., Golinsky, G.L., Bezmenova, L.V., & Rakhimov, A.R. (2006). [Balkhan earthquake on December 6, 2000 with $M_S=7.3$, $I_0=8-9$ (Kopetdag)]. In *Zemletryaseniia Severnoi Evrazii, 2000 god* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2000] (pp. 306–320). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
14. Petrova, N.V. (2016). [Kukh-Zar earthquake on August 27, 2010 with $K_p=13.8$, $M_w=5.8$, $I_0=7-8$ (Elburs region of Kopetdag)] In *Zemletryaseniia Severnoi Evrazii, 2010 god* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2010] (pp. 361–370). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
15. Petrova, N.V., Annaorazova, T.A., Bezmenova, L.V., Saryeva, G.Ch., & Charyev, M.M. (2012). [Kopetdag]. In *Zemletryaseniia Severnoi Evrazii, 2006 god* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2006] (pp. 97–107). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
16. Balassanian, S., Ashirov, T., Chelidze, T., Gassanov, A., Kondorskaya, N., Molchan, G., ... & Giardini, D. (1999). Seismic hazard assessment for the Caucasus test area. *Annals of Geophysics*, 42(6).
17. Hessami, Kh., Jamali, F., & Tabassi, H. (2003). Major active faults of Iran. Scale 1:2.500.000. Ministry of Science, Research and Technology. International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES). Seismotectonic Department. Seismology Research Center. Retrieved from http://neotec.ginras.ru/neomaps/M025_Iran_2003_Active-faults_Karta-glavnyh-aktivnyh-razlomov-irana.html
18. Gaipov, B.N., Petrova, N.V., Golinskiy, G.L., Rakhimov, A.R., & Saryeva, G.Ch. (2007) [Kopetdag]. In *Zemletryaseniia Severnoi Evrazii, 2000 god* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2006] (pp. 95–109). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
19. Arefiev, S.S. (2002). [Foreshocks, aftershocks, and swarms of earthquakes]. *Fizika Zemli*. [Izvestiya. Physics of the Solid Earth], 1, 60–77. (In Russ.).
20. Global Centroid Moment Tensor (GCMT) Catalog Search (2020). Retrieved from <http://www.globalcmt.org/>
21. National Earthquake Information Center and Data Center for Seismology, Denver. (2020). Retrieved from <http://earthquake.usgs.gov/regional/neic>