

## СЕЙСМИЧНОСТЬ КОПЕТДАГСКОГО РЕГИОНА в 2015 г.

Г.Ч. Сарыева<sup>1</sup>, Н.В. Петрова<sup>2</sup>, Л.В. Безменова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт сейсмологии и физики атмосферы АН Туркменистана, г. Ашхабад,  
*tm.seismology@online.tm*

<sup>2</sup>ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, *npetrova@gsras.ru*

**Аннотация.** В 2015 г. мониторинг сейсмичности Копетдагского региона осуществлялся сетью из 32 сейсмических станций, из них 28 цифровых и четыре аналоговые. Начатое в 2013 г. переоснащение стационарных аналоговых станций Туркменистана цифровой аппаратурой типа GEOSIG было продолжено в 2015 г. – к девяти укомплектованным ею станциям были добавлены еще шесть, при этом работа аналоговой аппаратуры на переоснащенных станциях была остановлена. Сейсмическая активность на территории Копетдагского региона в 2015 г. была близка к фоновой за период 1992–2014 гг. Продолжилась начавшаяся в 2012 г. сейсмическая активизация вдоль границ блоков земной коры на севере Иранской плиты в зоне ее контакта с Туранской плитой – здесь 12 октября произошло самое сильное на территории Туркменистана в 2015 г. землетрясение с  $K_p=12.7$ ,  $M_s=4.6$ ,  $M_w=5.2$ , названное Кенекесирским по наименованию ближайшего населенного пункта. По комплексу инструментальных сейсмологических и тектонических данных, в очаге произошел сбросо-сдвиг по плоскости юго-западного простирания, падающей на северо-запад. Землетрясение ощущалось в Кенекесире с интенсивностью 4–5 баллов и сопровождалось неординарным количеством афтершоков – за 80 дней до конца 2015 г. в радиусе 30 км от эпицентра было лоцировано более 35000 событий с  $K_p=3–11$ . Афтершоковая серия длительностью  $Taf=186$  дней завершилась в 2016 году. Максимальный («Ботовский») афтершок произошел 16 ноября с  $K_p=11.1$ . Судя по его отдаленности от основного толчка в пространстве и во времени, а также отличию типа подвижки в очаге (взброс), он вызван релаксацией напряжений в окружающей среде.

**Ключевые слова:** сейсмическая станция, сейсмическая активность, сейсмическая энергия, афтершок, механизм очага.

**DOI:** 10.35540/1818-6254.2021.24.07

**Для цитирования:** Сарыева Г.Ч., Петрова Н.В., Безменова Л.В. Сейсмичность Копетдагского региона в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – С. 84–93. doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.07

**Введение.** В 2015 г. сейсмологические наблюдения и исследования на территории Туркменистана производились Институтом сейсмологии и физики атмосферы АНТ (ИСиФА АНТ), созданным в 2014 г. с включением в его структуру Государственной сейсмологической службы и Института сейсмологии Академии наук Туркменистана. При этом Партия № 26 управления «Туркменгезлегеофизика», проводившая ранее сейсмологические наблюдения в центральной части Туркменистана сетью передвижных сейсмических станций, была ликвидирована, а комплекты аппаратуры типа «Дельта Геон» переданы на баланс ИСиФА АНТ.

**Сеть сейсмических станций.** Мониторинг сейсмичности Копетдагского региона в 2015 г. осуществлялся сетью из 32 сейсмических станций, включающей 20 стационарных и 12 автономных (передвижных) станций [1] ИСиФА АНТ (рис. 1). Начатое в 2013 г. переоснащение стационарных аналоговых станций цифровой аппаратурой типа GEOSIG было продолжено в 2014–2015 гг. В 2015 г. к девяти уже переоснащенным станциям (Крс, Нбд, Крк, Днт, Ккс, Срх, Грд, Кшк и Снч) были добавлены еще шесть – «Ашхабад» (Ашх), «Кизыл-Атрек» (Ктр), «Чагыл» (Чгл), «Каушут» (Кшт), «Серный» (СРН) и «Кугитанг» (Кгт), причем в 2015 г. работа аналоговой аппаратуры на переоснащенных станциях была остановлена. Еще одна цифровая стационарная станция, «Геокча» (Гкч) системы IRIS, функционировала в Туркменистане с 2000 года. Таким образом, в 2015 г. лишь на четырех стационарных станциях – «Ванновская» (Ван), «Овадан-Тепе» (Овд), «Маныш» (Мнш) и «Карлюк» (Кар) – продолжала работать аналоговая аппаратура.

Сеть из девяти передвижных станций типа «Дельта Геон» ИСиФА АНТ пополнилась в 2015 г. тремя станциями того же типа. Станция «Вышка» (Вшк) оборудована в районе № 1, южнее г. Балканабата; станция «Туркменкель» (Тмк) – в районе № 5, между ст. Чгл и СРН, а ст. «Чарджоу» (Чрж) – на востоке Туркменистана, в районе № 4, в г. Туркменабате (рис. 1).

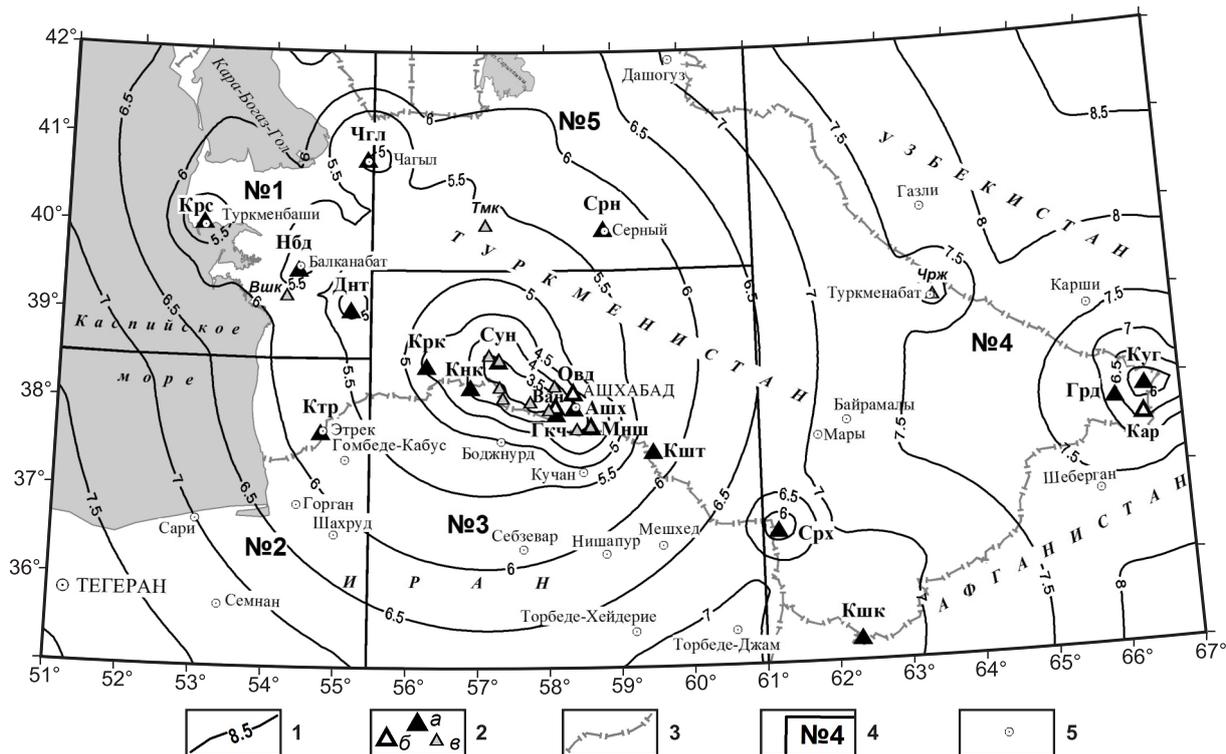


Рис. 1. Карта энергетической представительности  $K_{3min}$  регистрации землетрясений Копетдага минимум тремя станциями согласно методике [2] по состоянию на конец 2015 г.

1 – изолиния  $K_{3min}$ ; 2 – сейсмическая станция: а – цифровая системы IRIS или GEOSIG, б – аналоговая, в – автономная Дельта Геон; 3 – государственная граница; 4 – граница района.

Благодаря переоснащению большинства сейсмических станций высокочувствительной цифровой аппаратурой, дальность регистрации землетрясений региона к концу 2015 г. существенно улучшилась. Энергетическая представительность  $K_{3min}$ , изолинии которой рассчитаны и построены с использованием методики [2] (рис. 1), позволяет без пропусков регистрировать землетрясения с представительного энергетического уровня: в Балхано-Каспийском (№ 1), Туркмено-Хорасанском (№ 3) и Центрально-Каракумском районах – с  $K_p \geq 7.5$ , в Эльбурском районе с  $K_p \geq 8$ , в Восточном Туркменистане – с  $K_p \geq 8.5$  (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	7.5	8
2	Эльбурский	35.0–38.5	51.0–55.5	156	8	8
3	Туркмено-Хорасанский	35.0–39.5	55.5–61.0	243	7.5	7
4	Восточный Туркменистан	35.0–42.0	61.0–67.0	407	8.5	8
5	Центрально-Каракумский	39.5–42.0	55.5–61.0	130	7.5	–
	<b>Копетдаг</b>	35.0–42.0	51.0–67.0	1082	8.5	8

**Исходные данные и методика обработки.** При обработке записей землетрясений Копетдага, определении кинематических и динамических параметров, макросейсмических характеристик ощутимых землетрясений и механизмов очагов использовались методические приемы, описанные в [3].

В каталог землетрясений Копетдага за 2015 г. [4], публикуемый, как и ранее, с энергетического уровня  $K_p \geq 8.6$ , вошли 211 событий, показанных на карте (рис. 2), одно из которых, локализованное за пределами западной границы региона, не учитывалось при расчете параметров сейсмического режима.

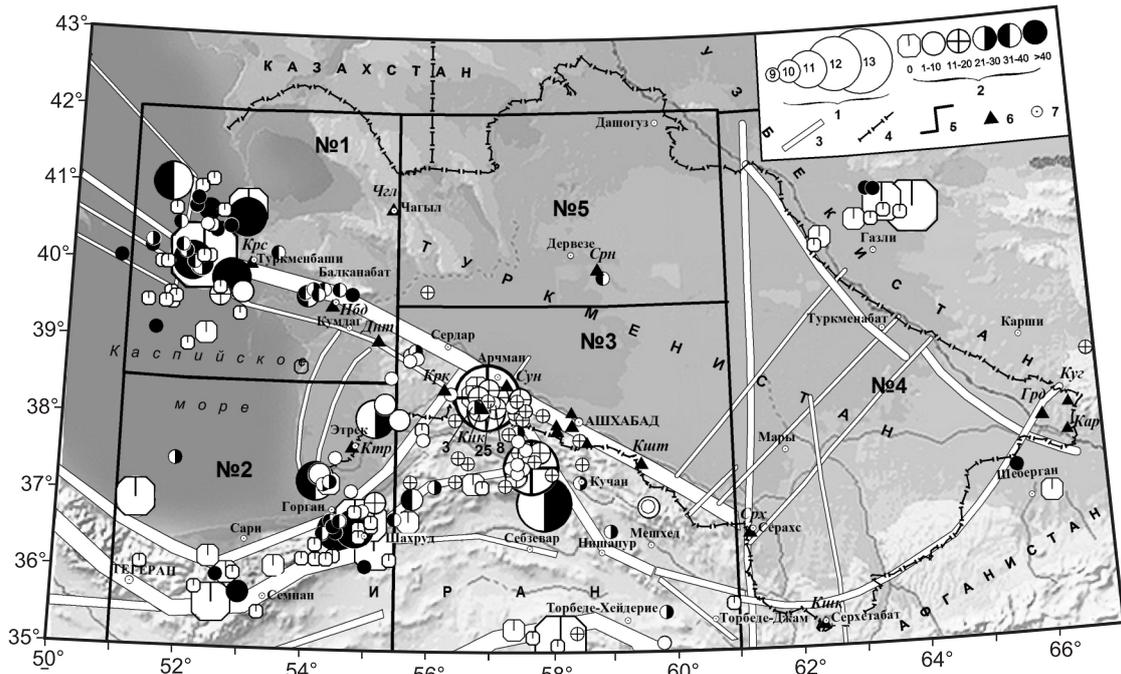


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений Копетдага за 2015 г.

1 – энергетический класс  $K_p$ ; 2 – глубина гипоцентра  $h$ , км (0 – глубина не определена); 3 – сейсмолинеамент; 4 – граница Туркменистана; 5 – граница сейсмоактивного района; 6 – стационарная сейсмическая станция; 7 – город.

Каталог [5] и карта механизмов очагов (рис. 3) включают 18 землетрясений 2015 г., для которых механизмы очагов определены совместно ИСиФА АНТ и Геофизической обсерваторией «Борок» ИФЗ РАН по знакам первых вступлений  $P$ -волн на сейсмических станциях Туркменистана, Ирана [6] и глобальной сети [7].

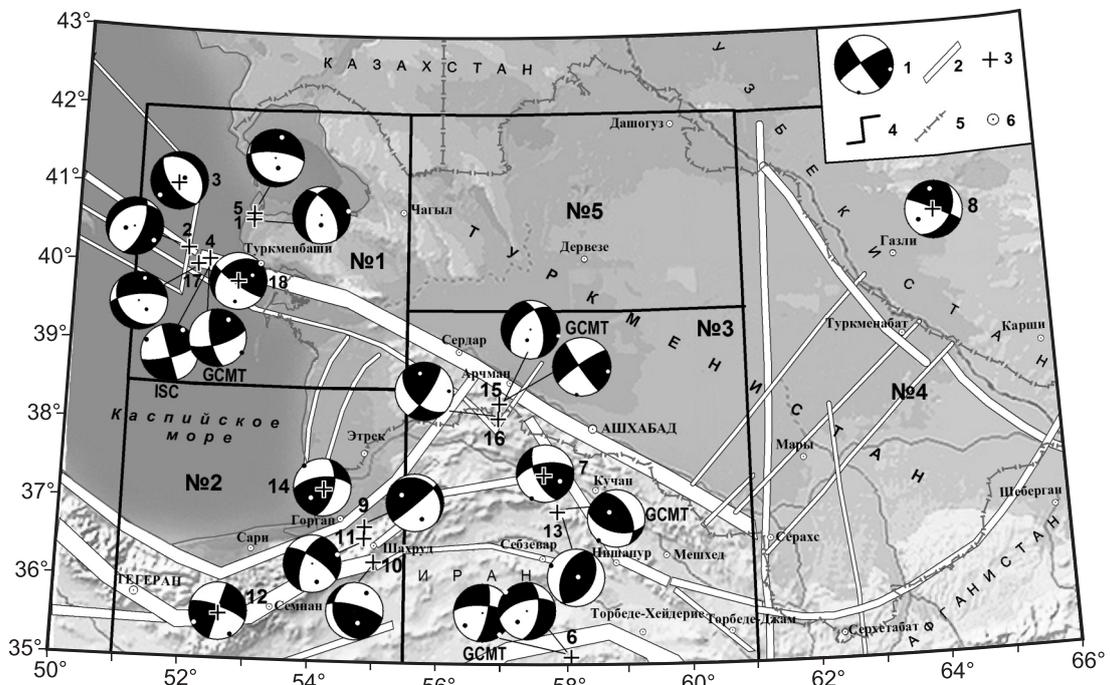


Рис. 3. Диаграммы механизмов очагов землетрясений Копетдага в 2015 г. в проекции нижней полусферы

1 – диаграмма, зачернены области сжатия, оси сжатия и растяжения показаны черной и белой точкой соответственно, номер рядом с диаграммой соответствует номеру землетрясения в [5], при наличии альтернативных решений рядом с диаграммой указан код агентства; 2 – сейсмолинеамент; 3 – эпицентр; 4 – граница сейсмоактивного района; 5 – государственная граница; 6 – город.

**Анализ данных.** Общее число сейсмических событий в диапазоне энергетических классов  $K_p=2-13$ , зарегистрированных в Копетдагском регионе в 2015 г., достигло рекордного значения – 42552 события, что, как показывает гистограмма распределения числа землетрясений по годам (рис. 4), целиком связано с внедрением на большинстве станций Туркменистана высокочувствительной цифровой аппаратуры, начавшимся в 2013 году. Об этом свидетельствуют числа землетрясений Копетдага с  $K_p \geq 8.6$  в 2014 г. (225) и 2015 г. (210), которые близки к среднему значению  $N_{cp}=216$  за период с 1992 по 2014 г. [8], определенному без учета сейсмических активизаций, вызванных афтершоковой деятельностью крупнейших в регионе за этот период Боджнурдского 1997 г.,  $M_S=6.6$  [9] и Балханского 2000 г.,  $M_S=7.3$  [10] землетрясений. Отметим, что  $K_p=9$  являлся представительным энергетическим классом по Копетдагскому региону за указанный период.

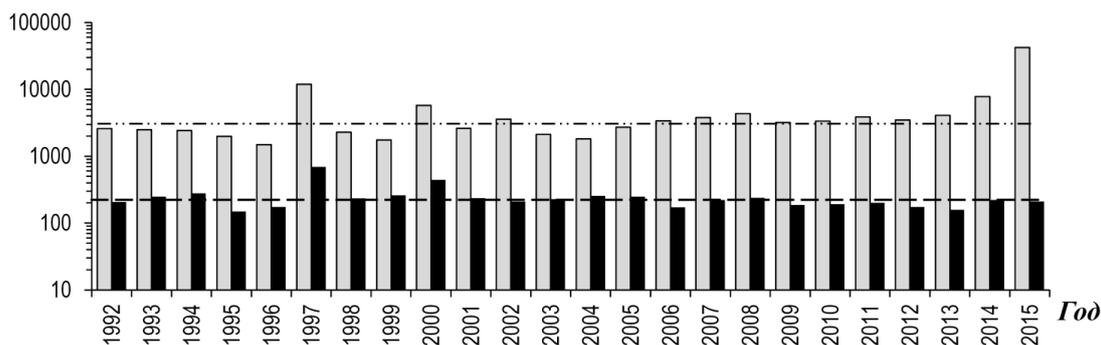


Рис. 4. Годовые числа всех зарегистрированных землетрясений (1) и событий с  $K_p \geq 8.6$  (2) в Копетдагском регионе за период 1992–2015 гг.

Пунктирными линиями показаны средние значения всех землетрясений (3) и событий с  $K_p \geq 8.6$  (4) за указанный период без учета сейсмических активизаций в 1997 г. и 2000 г. [8].

Параметры сейсмического режима на территории региона и его отдельных сейсмоактивных районов в 2015 г. представлены в табл. 2. По Копетдагу в целом они близки к среднегодовым за период 1992–2014 гг. значениям, приведенным в [8] ( $N_{\Sigma}=216$  для землетрясений с  $K_p=9-16$ ,  $A_{10}=0.044$ ,  $\Sigma E=25 \cdot 10^{12}$  Дж,  $\gamma=0.5$ ). При этом число слабых событий с  $K_p=7$  и 8 значительно превысило число землетрясений подобной энергии в 2014 г. [4], что, как указывалось выше, связано с переоснащением сейсмических станций высокочувствительной аппаратуры GEOSIG, начавшимся в 2014 году.

Таблица 2. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам  $K_p$ , суммарная сейсмическая энергия  $\Sigma E$ , параметры сейсмического режима  $A_{10}$  и  $\gamma$  в отдельных сейсмоактивных районах и Копетдагском регионе в целом в 2015 г.

№	Район	$K_p$							$N_{\Sigma}$ ( $K_p=9-13$ )	$\Sigma E$ , $10^{12}$ Дж	$\gamma$	$A_{10}$	$\Delta K^1$
		7	8	9	10	11	12	13					
1	Балхано-Каспийский	111	124	38	6	5	–	1	50	6.94	0.41	0.087	8–13
2	Эльбурский	38	60	30	8	9	–	–	47	0.92	0.30	0.086	8–11
3	Туркмено-Хорасанский	826	265	79	14	1	3	1	98	8.44	0.52	0.076	7–13
4	Восточный Туркменистан	3	11	8	3	1	1	–	13	0.71	0.30	0.0075	8–12
5	Центрально-Каракумский	3	1	2	–	–	–	–	2	0.004	–	–	–
	<b>Копетдаг</b>	981	461	157	31	16	4	2	210	17.015	0.48	0.042	8–13

В Балхано-Каспийском районе (№ 1) в 2015 г. продолжилась активизация сейсмического процесса, отмеченная еще в 2014 г. по сравнению с 2013 годом. Она выразилась в небольшом увеличении выделенной сейсмической энергии и сейсмической активности ( $\Sigma E=6.94 \cdot 10^{12}$  Дж,  $A_{10}=0.087$  по сравнению с  $\Sigma E=5.89 \cdot 10^{12}$  Дж и  $A_{10}=0.075$  в 2014 г.), однако по сравнению с долговременным средним уровнем сейсмической активности в районе № 1 за период 1966–2006 гг. ( $A_{10}=0.11$ ) [11] значение  $A_{10}=0.087$  в 2015 г. остается пониженным.

<sup>1</sup> Диапазон энергетических классов, для которого определены параметры графика повторяемости  $\gamma$  и  $A_{10}$ .

Максимальным событием в районе № 1 в 2015 г. было землетрясение 22 марта в 22<sup>h</sup>45<sup>m</sup> с  $K_p=12.8$  ( $M_w=5.1$ ) в акватории Каспия, ощущавшееся в г. Туркменбаши ( $\Delta=68$  км) с интенсивностью до 4 баллов. Механизм очага по данным GCMT и ISC [5, 7] представлен сдвигом по крутым плоскостям – левосторонним по субмеридиональной или правосторонним по субширотной (№ 4 на рис. 3). Обе плоскости равновероятны, поскольку в районе очага пересекаются сейсмолинеаменты, ориентация (рис. 3) и типы смещений по которым близки к полученным в решениях GCMT и ISC для этих плоскостей. Землетрясение сопровождалось несколькими афтершоками с  $K_p=9$ .

Землетрясение 28 марта в 01<sup>h</sup>08<sup>m</sup> с  $K_p=11$ , произошедшее всего через 5 дней после основного толчка 22 марта, к афтершокам не относится, т.к. оно лоцировано в 90 км к северо-востоку с небольшой ошибкой локации,  $dr=\pm 9$  км, и имеет отличный механизм очага – сброс по крутой субширотной плоскости или сдвиго-сброс по пологой плоскости юго-восточного простираения (№ 5 на рис. 3). Отметим, что ранее, 17 января в 23<sup>h</sup>02<sup>m</sup>, в этом же месте произошло землетрясение с  $K_p=11.4$  (№ 1 на рис. 3), ощущавшееся в г. Туркменбаши с интенсивностью 3 балла. Оба толчка реализовались в условиях преобладающего горизонтального растяжения, субширотного при событии 17 января и субмеридионального при землетрясении 28 марта, и субмеридионального сжатия ( $A_z=164$  и  $183^\circ$ ), оси которого составляют  $PL=60-62^\circ$  с горизонтом. Тип подвижки в обоих очагах одинаков – сброс с компонентами сдвига, однако простираение нодальных плоскостей различно (рис. 3).

В Эльбурском районе (№ 2) установка с середины мая в Кизыл-Атреке цифровой станции типа GEOSIG не привела к ожидаемому увеличению регистрации слабых землетрясений из-за высокого уровня помех. Выделившаяся сейсмическая энергия ( $\Sigma E=0.92 \cdot 10^{12}$  Дж) и сейсмическая активность повысились по сравнению с аналогичными параметрами прошлого года ( $\Sigma E=0.82 \cdot 10^{12}$  Дж,  $A_{10}=0.072$ ). За год в районе № 2 зарегистрировано девять землетрясений с  $K_p=11$  по сравнению с четырьмя в 2014 году. Пять из них произошли не далее 40 км от иранского города Шахруда, два – вблизи туркмено-иранской границы и два – на юго-западе района, в 115 и 120 км к северу и востоку от г. Тегерана соответственно.

В районе Шахруда все пять сильных землетрясений с  $K_p=10.6-11.3$  произошли 10–28 августа, образуя рой, причем каждое сильное событие роя сопровождалось более слабыми толчками с  $6.6 \leq K_p < 10.6$ . Сведений об ощутимости событий этой серии на территории Туркменистана не поступало. Определены механизмы очагов трех из них (№№ 9–11), которые отличаются друг от друга как ориентацией нодальных плоскостей, так и превалированием в подвижках разнонаправленных компонент: взброса, сброса и сдвига.

Одним из самых заметных на туркменской территории стало землетрясение 15 сентября в 17<sup>h</sup>35<sup>m</sup> с  $K_p=11.2$ ,  $h=32$  км, которое произошло в 72 км к юго-западу от туркменского г. Этрека и ощущалось там с интенсивностью 2 балла по шкале MSK-64. На территории Ирана это землетрясение проявилось в г. Алиабаде – IV балла по шкале Меркалли. В очаге в условиях северо-западного сжатия, характерного для землетрясений Южно-Каспийской впадины, реализовался взбросо-сдвиг по субмеридиональной или субширотной плоскости (№ 14 на рис. 3). Наиболее вероятной представляется меридиональная плоскость, совпадающая по ориентации с Шахманской сейсмогенной зоной, к которой приурочено землетрясение (рис. 3).

Другое сравнительно сильное землетрясение произошло 19 мая с  $K_p=10.7$ ,  $h=29$  км на территории Туркменистана, в 70 км к северо-западу от Этрека, однако сведений о его ощутимости не поступало.

Землетрясение 25 марта в 17<sup>h</sup>36<sup>m</sup> с  $K_p=11$ , лоцированное между иранскими городами Тегеран и Семнан (рис. 2), ощущалось в трех населенных пунктах Ирана – Кодсе (III балла по шкале Меркалли), Гермсаре и Тегеране (II балла).

В Туркмено-Хорасанском районе (№ 3) в 2015 г. сейсмическая активность понизилась ( $A_{10}=0.076$  по сравнению с  $A_{10}=0.091$  в 2014 г.), а выделенная сейсмическая энергия ( $\Sigma E=8.44 \cdot 10^{12}$  Дж) осталась на прежнем уровне ( $\Sigma E=8.32 \cdot 10^{12}$  Дж). При этом параметры за оба года оставались пониженными в сравнении с долговременным средним значением сейсмической активности в районе за 1966–2006 гг.,  $A_{10}=0.14$  [11].

Самое сильное землетрясение в районе, 12 октября в 21<sup>h</sup>37<sup>m</sup> с  $K_p=12.7$ ,  $M_s=4.6$ ,  $M_w=5.2$ , произошло на территории Туркменистана в месте интенсивной роевой последовательности 8–18 июня 2014 г. [8]. По месту расположения очага, в 17 км к северу от поселка Кенекесир, землетрясение названо Кенекесирским. На данном участке Западного Копетдага это землетрясение является одним из самых сильных – в радиусе 30 км от его эпицентра известны лишь два

события подобной величины – Куруждейское 21 августа 1984 г. с  $M_s=4.5$  [12] и Кенекесирское 21 октября 1994 г. с  $M_s=5.2$  [13]. Землетрясение 12 октября 2015 г. выделяется среди других сейсмических событий Копетдага неординарным количеством зарегистрированных афтершоков – за 80 дней до конца 2015 г. в радиусе 30 км от его эпицентра было лоцировано более 35000 событий с  $K_p=3-11$ , из них 1567 – с  $K_p \geq 5.6$ . Помимо особенностей очаговой зоны, отличающейся высокой степенью группирования сейсмических событий в виде роев и афтершоковых серий [3, 4, 12, 13], этому способствовало переоснащение ряда станций Туркменистана комплектами высокочувствительной аппаратуры типа GEOSIG, включая две ближайшие к очагу станции – «Кенекесир» и «Сунча».

Землетрясение зарегистрировано 23 сейсмическими станциями ИСиФА АНТ, параметры гипоцентра определены по 19 наиболее надежным станциям. Самая близкая к эпицентру станция «Кенекесир» в этом определении не участвовала, т.к. в момент главного толчка не работала из-за отключения электричества. Основные параметры главного толчка и максимального афтершока по каталогу КОП [4] и по данным международных сейсмологических центров («агентств» в табл. 5 и далее по тексту), опубликованным в [7], приведены в табл. 3 и на рис. 5 а.

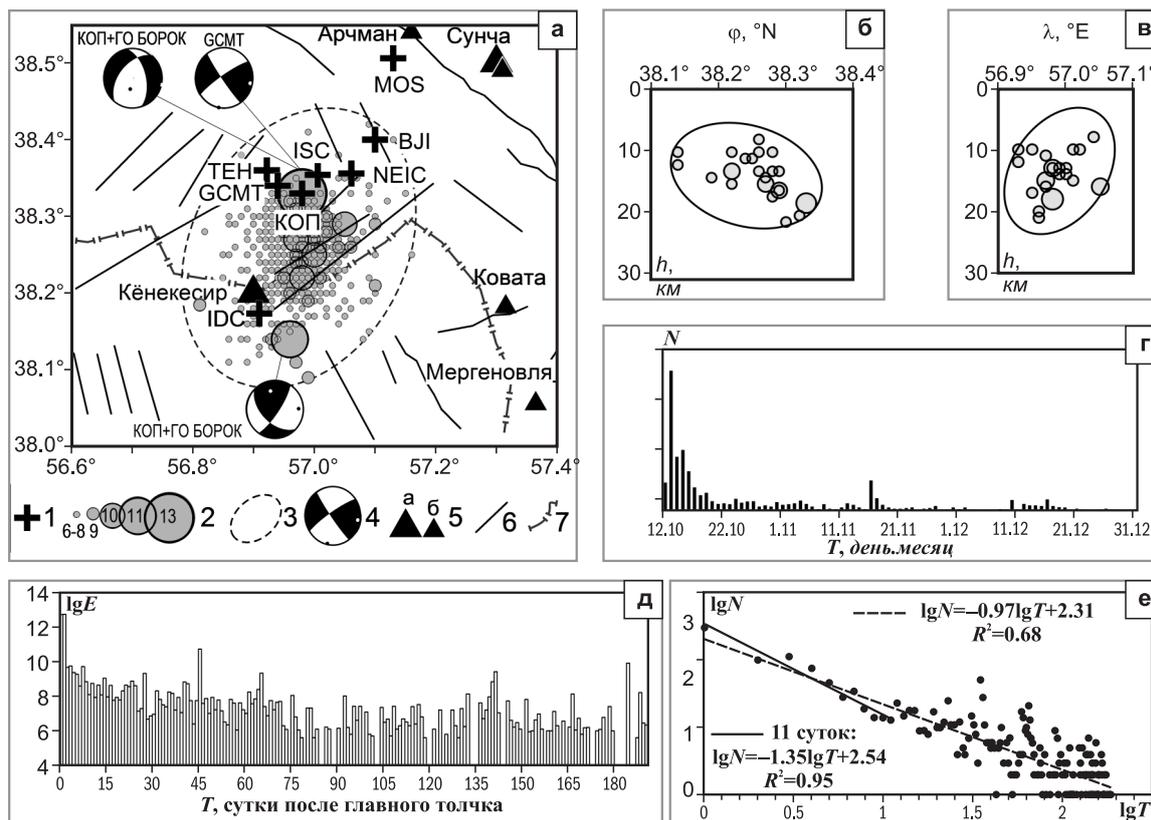
**Таблица 3.** Параметры Кенекесирского землетрясения 12 октября 2015 г. по данным разных сейсмологических центров

Агентство	$t_0$ , ч мин с	$\delta t_0$ , с	Гипоцентр			$\delta r$ , км	Магнитуда	Источник
			$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E	$h$ , км			
<b>Главный толчок 12 октября</b>								
КОП	21 37 26	0.53	38.33	56.98	18	6	$K_p=12.7/19$	[4]
ISC	21 37 31.1	0.25	38.35	57.01	10f	3.6	$M_s=4.6/71, mb=4.8/170$	
ТЕН	21 37 26.9	0.5	38.36	56.92	6.9	–	$ML=5.2$	[7]
THR	21 37 29	1.18	38.31	56.93	15	7.3	$ML=5.2$	[7]
MOS	21 37 30.3	1.85	38.51	57.13	10	3.9	$M_s=4.4/17, mb=5.0/43$	[7]
IDC	21 37 29.3	0.47	38.17	56.91	0f	11.4	$M_s=4.6/42, mb=4.6/38, ML=4.1/4$	[7]
NEIC	21 37 31.7	2.33	38.36	57.06	10f	13.3	$mb=4.9/74$	[7]
GCMT	21 37 31.7	0.1	38.34	56.94	18.5	–	$M_w=5.2/126$	[7]
ВЛ	21 37 29	0.0	38.40	57.10	10	–	$M_s=5.4/57, mb=4.6/57, mB=5.0/40$	[7]
<b>Максимальный афтершок 16 ноября</b>								
КОП	17 03 09	–	38.14	56.96	13	15	$K_p=11.1/13$	[4]
ISC	17 03 12.21	1.55	38.38	56.99	8.5	6.1	$mb=4.1/25$	[7]
ТЕН	17 03 11.6	–	38.34	56.93	10	–	$ML=4.4$	[7]
THR	17 03 13.6	0.81	38.22	56.93	14.2	6.1	$ML=4.0$	[7]
MOS	17 03 13	1.82	38.36	57.04	22	7.2	$mb=4.4/9$	[7]
IDC	17 03 11.46	0.66	38.22	56.82	0f	13.5	$mb=3.9/18$	[7]

Примечание. Расшифровка кодов агентств приведена в «Обозначениях» к данному выпуску журнала.

Разброс представленных в табл. 3 решений для координат эпицентра главного толчка не превышает  $\Delta\varphi, \Delta\lambda = \pm 0.2^\circ$  по сравнению с решением КОП. Значение глубины очага варьирует в разных решениях в диапазоне  $h=6.9-18.5$  км. Для максимального афтершока  $\Delta\varphi, \Delta\lambda = \pm 0.24^\circ$ ,  $h=6.1-15$  км. При этом решения для эпицентров главного толчка и максимального афтершока по данным КОП отстоят друг от друга на 21 км, что заставляет усомниться в принадлежности землетрясения 16 ноября к афтершоковой последовательности. Однако с учетом ошибки определения его эпицентра в решении КОП (15 км), а также решений ISC, ТЕН и MOS, которые отстоят от эпицентра главного толчка всего на 5–6 км, сомнений в принадлежности землетрясения 16 ноября к афтершоковой серии Кенекесирского землетрясения не остается.

На рис. 5 а показана афтершоковая зона Кенекесирского землетрясения, выделенная с помощью алгоритма А.Г. Прозорова [14], реализованного в ГИС EEDB [15], и механизмы очагов главного толчка и максимального афтершока 16 ноября с  $K_p=11.1$ , на рис. 5 б, в – проекции гипоцентров афтершоков с  $K_p \geq 8.6$  на широту и долготу. Как видим, ориентация и падение на запад афтершокового облака лучше всего согласуются с решением механизма очага КОП+ГО БОРОК [5] для нодальной плоскости  $NP1$  юго-западного простирания, падающей на северо-запад, а также с ориентацией ближайших разломов. Это позволяет выбрать данную плоскость в качестве действующей в очаге Кенекесирского землетрясения.



**Рис. 5.** Пространственно-временное развитие сейсмического процесса в очаговой зоне Кенекесирского землетрясения 12 октября 2015 г.: а) эпицентры главного толчка и его афтершоков в плане; б, в) гипоцентры главного толчка и афтершоков в проекции на широту и долготу; г) распределение суточных количеств афтершоков во времени в 2015 г.; д) временной ход ежесуточно выделяемой сейсмической энергии в ходе афтершоковой серии; е) проверка выполнения закона Омори на разных этапах афтершоковой серии

1 – эпицентр главного толчка по данным разных сейсмологических центров; 2 – энергетические классы  $K_p$  главного толчка и его афтершоков; 3 – афтершоковая зона; 4 – механизмы очагов главного толчка и максимального афтершока 16 ноября; 5 – сейсмическая станция типа GEOSIG (а) и Дельта Геон (б); 6 – разлом; 7 – туркмено-иранская граница.

Изучение временного развития афтершокового процесса (рис. 5 г–е) показало, что закон Омори выполняется с высоким коэффициентом корреляции только на начальной стадии процесса длительностью 11 дней, при этом степень затухания суточных количеств афтершоков  $p=1.35$  превышает среднюю величину этого параметра  $p=1.0$  по данным ряда публикаций [14–17]. В дальнейшем афтершоковый процесс принимает пульсирующий характер (рис. 5 е), переходя, согласно модели, предложенной в [17], от процесса разрывообразования и снятия зацепов непосредственно в очаге к релаксации напряжений в окружающей среде. Попытка аппроксимации всей афтершоковой серии длительностью 186 дней, установленной в [18], единым степенным законом спада числа афтершоков (рис. 5 е) привела к приближению значения  $p=0.97$  к среднемировому, но полученный коэффициент детерминации  $R^2=0.68$  уменьшился в 1.4 раза по сравнению с таковым для 11-дневного периода.

Максимальный афтершок 16 ноября, являющийся так называемым «Ботовским афтершоком», произошел не в «регулярный» 11-дневный период, а в период релаксации напряжений в окружающей среде, и имел довольно низкую магнитудную разницу с главным толчком,  $\Delta M=0.7$ , тогда как среднемировое значение  $\Delta M=1.0$ . Совершенно иной тип механизма очага по сравнению с главным толчком (взбросо-сдвиг) подтверждает его принадлежность к релаксационному этапу.

Среди других сильных землетрясений района № 3 отметим землетрясение 5 мая с  $K_p=12$  на юге района, ощущавшееся в иранских городах Тайбаде (III балла по шкале Меркалли) и Мешхеде (II балла) и в афганском городе Герате (II балла), а также землетрясение в районе Боджнурда 19 мая с  $K_p=11.7$ , проявившееся в Ашхабаде с интенсивностью III балла.

На территории **Восточного Туркменистана (№ 4)** с внедрением двух цифровых станций типа GEOSIG («Гаурдак» в 2013 г. и «Кугитанг» в 2015 г.) увеличилось число регистрируемых слабых землетрясений, однако сейсмическая активность и количество высвободившейся сейсмической энергии понизились с  $A_{10}=0.011$  и  $\Sigma E=32.975 \cdot 10^{12}$  Дж в 2014 г. до  $A_{10}=0.008$  и  $\Sigma E=0.712 \cdot 10^{12}$  Дж в 2015 году. Это обусловлено отсутствием в 2015 г. землетрясений с  $K_p \geq 12.6$  на территории района № 4.

Как и ранее, в 2015 г. сейсмичность района сосредоточена в основном на территории сопредельных государств. Ряд эпицентров землетрясений с  $K_p=8.6-11.8$  зарегистрирован на территориях Узбекистана (пос. Газли) и Афганистана (рис. 1).

В 2015 г. в населенных пунктах на востоке Туркменистана ощущались сотрясения от трех глубоких землетрясений Гиндукуша, произошедших далеко за пределами Копетдагского региона. Землетрясение 26 октября с  $M_w=7.5$ ,  $h=230$  км ощущалось в Магданлы с интенсивностью 4 балла, в Туркменабаде – 2–3 балла по шкале MSK-64. Два других землетрясения, 10 августа с  $K_p=14.3$ ,  $h=210$  км и 25 декабря с  $K_p=15$ ,  $h=230$  км, проявились с интенсивностью до 2 баллов, первое – в Магданлы, Кунджеке и Койтене, второе – в Магданлы.

**Заключение.** В 2015 г. было продолжено переоснащение стационарных аналоговых станций Туркменистана цифровой аппаратурой типа GEOSIG, начатое в 2013 году. К концу года только на четырех станциях из 32 остались комплекты аналоговой аппаратуры. Это понизило представительный уровень регистрации  $K_{\min}$  и повысило число регистрируемых слабых землетрясений в целом в регионе, за исключением станции Кизыл-Атрек, переоснащение которой не привело к ожидаемому росту числа лоцированных слабых событий из-за высокого уровня помех.

Параметры сейсмического режима по Копетдагу в целом в 2015 г. были близки к фоновым значениям за период 1992–2014 гг. Продолжилась начавшаяся в 2012 г. сейсмическая активизация вдоль границ блоков земной коры на севере Иранской плиты в зоне ее контакта с Туранской плитой. В этой зоне, в 35 км к югу от п. Арчман, 12 октября 2015 г. произошло самое сильное на территории Туркменистана землетрясение с  $K_p=12.7$ ,  $M_w=5.2$ , сопровождавшееся неординарным количеством афтершоков – за 80 дней до конца 2015 г. в радиусе 30 км от эпицентра было лоцировано более 35 000 событий с  $K_p=3-11$ , из них 1567 – с  $K_p \geq 5.6$ . Афтершоковая серия длительностью  $T_{af}=186$  дней завершилась в 2016 году. На основе комплекса данных уточнена ориентация плоскости разрыва и подвижка в очаге – сбросо-сдвиг по плоскости юго-западного простирания, падающей на северо-запад. В афтершоковой серии выделены два этапа: развития очага длительностью 11 дней и релаксации напряжений – с 12 по 186 день.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 Минобрнауки России и темы НИР ТВ 08.00.2526 Академии наук Туркменистана.

## 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 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
2. Петрова Н.В., Абасеев С.С., Сарыева Г.Ч. Методы оценки  $K_{\min}$  при регистрации землетрясений цифровыми и аналоговыми станциями Туркменистана // Землетрясения Северной Евразии, 2007 год. – 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 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
5. Петров В.А., Безменова Л.В. (отв. сост.), Петрова Н.В., Лукаш Н.А. Каталог механизмов очагов землетрясений Копетдага за 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
6. Iranian Seismological Centre. (2021). Online Databank. – URL: <http://irsc.ut.ac.ir/bulletin.php>
7. International Seismological Centre. (2021). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>

8. 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
9. 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  $MS=6.6$ ,  $I_0=8$  (Копетдаг) // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. – Обнинск: ГС РАН, 2003. – С. 199–218.
10. 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.
11. 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.
12. Аннаоразова Т.А., Голинский Г.Л., Рахимов А.Р., Смирнова Н.П. Землетрясения Копетдага // Землетрясения в СССР в 1984 году. – М.: Наука, 1987. – С. 44–51.
13. Голинский Г.Л., Мурадов Ч.М., Рахимов А.Р. Кенекесирское землетрясение 21 октября 1994 года // Землетрясения Северной Евразии в 1994 году. – М.: ГС РАН, 2000. – С. 151–163.
14. Прозоров А.Г. Динамический алгоритм выделения афтершоков для мирового каталога землетрясений. Математические методы в сейсмологии и геодинамике // Вычислительная сейсмология. – 1986. – № 19. – С. 48–62.
15. Dyadkov P.G., Mikheeva A.V. The EEDB – Expert Earthquake Database for Seismic-Geodynamic Research // Bulletins of the Novosibirsk ICMG. Mathematical Modeling in Geophysics. – 2010. – N 13. – P. 15–30.
16. Молчан Г.М., Дмитриева О.Е. Идентификация афтершоков: обзор и новые подходы // Вычислительная сейсмология. – 1991. – № 24. – С. 19–50.
17. Татевосян Р.Э., Аптекман Ж.Я. Этапы развития афтершоковых последовательностей сильнейших землетрясений Мира // Физика Земли. – 2008. – № 12. – С. 3–23.
18. Петрова Н.В., Абасеев С.С., Безменова Л.В. Кенекесирское землетрясение 12 октября 2015 г. ( $M_w=5.2$ ) в Западном Копетдаге: афтершоковая серия и сильные движения грунта // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2021. – Т. 48, № 4. – С. 5–31. doi: 10.21455/VIS2021.4-1

### ***SEISMICITY of the KOPETDAG REGION in 2015***

***G.Ch. Saryeva<sup>1</sup>, N.V. Petrova<sup>2</sup>, L.V. Bezmenova<sup>1</sup>***

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

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

**Abstract.** In 2015, the seismicity of the Kopetdag region was monitored by the network of 32 seismic stations, including 28 digital and 4 analogue stations. The re-equipment of stationary analogue stations of Turkmenistan with digital GEOSIG equipment, which began in 2013, was continued in 2015 – 6 GEOSIG stations were added to 9 stations of this type, and the analogue equipment at the re-equipped stations was stopped. In 2015, the seismic activity  $A_{10}$  in the Kopetdag region was close to the background level for the period 1992–2014, while the number of weak events significantly exceeded the level of the previous year. The seismic activation along the boundaries of the crustal blocks in the north of the Iranian plate, which began in 2012, continued by the October 12, 2015 earthquake with  $K_R=12.7$ ,  $M_w=5.2$ . This strongest earthquake in the territory of Turkmenistan in 2015, named the Kenekesir earthquake by the name of the nearest settlement, accompanied by numerous aftershocks – more than 35000 events with  $K_R=3-11$  were located during 80 days after the mainshock within 30 km radius. The aftershock series lasted 186 days and ended in 2016. According to the complex of instrumental seismological and tectonic data, oblique-slip with equal normal and strike-slip components occurred in the source of the mainshock. The rupture plane had a southwestern strike and dipped to the northwest. The maximum ("Bath's") aftershock occurred on November 16 with  $K_R=11.1$ . Judging by its remoteness from the mainshock in space and time, and the difference in the type of movement in the source (upthrust), it was caused by stress relaxation in the environment.

**Key words:** seismic station, seismic activity, seismic energy, aftershock, focal mechanism.

**DOI:** 10.35540/1818-6254.2021.24.07

**For citation:** Saryeva, G.Ch., Petrova, N.V., & Bezmenova, L.V. (2021). [Seismicity of the Kopetdag region in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015), 84–93. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.07

## References

1. Bezmenov, E.N., Saryeva, G.Ch., Petrova, N.V., & Bezmenova, L.V. (2021). [Seismic stations of the Kopetdag and their parameters in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
2. Petrova, N.V., Abaseev, S.S., & Saryeva, G.Ch. (2013). [Methods for estimating  $K_{\min}$  when registering earthquakes with digital and analogue stations of Turkmenistan]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2007 godu* [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. (2021). [Catalog of the Kopetdag earthquakes for 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
5. Petrov, V.A., Bezmenov, L.V., Petrova, N.V., & Lukash, N.A. (2021). [Catalog of focal mechanisms of the Kopetdag earthquakes in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
6. Iranian Seismological Centre. (2021). Online Databank. Retrieved from <http://irsc.ut.ac.ir/bulletin.php>
7. International Seismological Centre. (2021). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
8. 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
9. Gaipov, B.N., Golinsky, G.L., Petrova, N.V., Ilyasov, B.I., Muradov, Ch.M., Rakhimov, A.R., Bezmenova, L.V., Garagozov, D., Khodzhaev, A., Baymuradov, K., & Rakhmanova, M.S. (2003). [Bojnurd earthquake on February 4, 1997 with  $MS=6.6$ ,  $I_0=8$  (Kopetdag)]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 1997 godu* [Earthquakes of Northern Eurasia, 1997] (pp. 199–218). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
10. Gaipov, B.N., Petrova, N.V., Golinsky, G.L., Bezmenova, L.V., & Rakhimov, A.R. (2006). [Balkhan earthquake on December 6, 2000 with  $MS=7.3$ ,  $I_0=8-9$  (Kopetdag)]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2000 godu* [Earthquakes of Northern Eurasia, 2000] (pp. 306–320). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
11. Petrova, N.V., Annaorazova, T.A., Bezmenova, L.V., Saryeva, G.Ch., & Charyev, M.M. (2012). [Kopetdag]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2006 godu* [Earthquakes of Northern Eurasia, 2006] (pp. 97–107). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
12. Annaorazova, T.A., Golinsky, G.L., Rakhimov, A.R., & Smirnova, N.P. (1987). [Earthquakes of Kopetdag]. In *Zemletriaseniia v SSSR v 1984 godu* [Earthquakes in the USSR in 1984] (pp. 44–51). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
13. Golinsky, G.L., Muradov, Ch.M., & Rakhimov, A.R. (2000). [Kenesesir earthquake on October 21, 1994]. In *Zemletriaseniia v Severnoi Evrazii v 1994 godu* [Earthquakes of Northern Eurasia in 1994] (pp. 151–163). Moscow, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
14. Prozorov, A.G. (1986). The dynamic algorithm for determination of aftershocks for the world earthquake catalogue. *Mathematical methods in seismology and geodynamics. Vychislitel'naya Seismologiya* [Computative seismology], 19, 58–62. (In Russ.).
15. Dyadkov, P.G., & Mikheeva, A.V. (2010). The expert earthquake database (EEDB) for seismic-geodynamic research. *Bulletin of the Novosibirsk computing center. Series: Mathematical modeling in geophysics*, 13, 15–30. (In Russ.).
16. Molchan, G.M., & Dmitrieva, O.E. (1991). Identifying of aftershocks: a review and new approaches. *Vychislitel'naya Seismologiya* [Computative seismology], 24, 19–50. (In Russ.).
17. Tatevossian, R.E., & Aptekman, Z.Y. (2008). Aftershock sequences of the strongest earthquakes of the world: Stages of development. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 44(12), 945–964.
18. Petrova, N.V., Abaseev, S.S., & Bezmenova, L.V. (2021). Kyonesesir earthquake on October 12, 2015 ( $M_w=5.2$ ) in the Western Kopetdag: aftershock series and strong ground motions. *Voprosy inzhenernoy seismologii* [Questions of engineering seismology], 48(4), 5–31. (In Russ.). doi: 10.21455/VIS2021.4-1