

СЕЙСМИЧНОСТЬ КОПЕТДАГСКОГО РЕГИОНА в 2016–2017 гг.

Г. Ч. Сарыева¹, Н. В. Петрова², Л. В. Безменова¹

¹Институт сейсмологии и физики атмосферы АН Туркменистана, г. Ашхабад, tm.seismology@online.tm

²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, npetrova@gsras.ru

Аннотация. В 2016–2017 гг. сейсмический мониторинг в Копетдагском регионе осуществлялся сетью из 34 сейсмических станций Института сейсмологии и физики атмосферы Академии наук Туркменистана, из них 20 стационарных и 14 передвижных. Всего за два года зарегистрировано 651 землетрясение с $K_p \geq 8.6$, из них 41 были ощутимыми. Для 83 событий определены механизмы очагов. Наиболее сильные и ощутимые землетрясения непосредственно на территории Туркменистана произошли в Балхано-Каспийском районе: 26 октября 2016 г. с $K_p=12.9$ ($M_w=5.5$) и 5 февраля 2017 г. с $K_p=12.4$ ($M_w=5.0$). Первое ощущалось в Балканабаде с интенсивностью 4–5 баллов, второе – в Кумдаге, 4 балла. Среди землетрясений за пределами Туркменистана наибольшей магнитудой и интенсивностью сотрясений на туркменской территории выделяются землетрясения Туркмено-Хорасанского района: 5 апреля 2017 г. с $K_p=14.3$, $M_w=6.0$ и 13 мая 2017 г. $K_p=13.4$, $M_w=5.7$. Первое проявилось с 6-балльной интенсивностью в иранском городе Торбете Джам, 5 баллов – в нескольких населенных пунктах, 3 балла – в туркменских городах Серахсе и Серхетабаде. При втором ощущались 4-балльные сотрясения в Ашхабаде. Среди сейсмоактивных районов Копетдагского региона наибольшее количество сейсмической энергии в 2016 г. выделилось на территории Балхано-Каспийского района, в 2017 г. – Туркмено-Хорасанского.

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

DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.07 **EDN:** QYHBBK

Для цитирования: Сарыева Г.Ч., Петрова Н.В., Безменова Л.В. Сейсмичность Копетдагского региона в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – С. 87–96. DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.07. EDN: QYHBBK

Введение. В 2016–2017 гг. сейсмологические наблюдения и исследования на территории Туркменистана производились единой сетью сейсмических станций Института сейсмологии и физики атмосферы АНТ (далее – «ИСИФА АНТ»), принадлежавших до 2014 г. включительно Государственной сейсмологической службе, Институту сейсмологии Академии наук Туркменистана и Партии № 26 управления «Туркменгезлегеофизика».

Сеть сейсмических станций, расположенных на территории Копетдагского сейсмоактивного региона, состояла из 34 станций (из них 20 стационарных и 14 передвижных станций [Прил. 1, 2]. В 2016 г. не было открыто ни одной новой цифровой станции типа GEOSIG, но установлены четыре станции типа Дельта-Геон: три станции на западе («Бугдайли», «Кумдаг», «Хазар») и одна – на востоке Туркменистана, для усиления аналоговой станции «Карлюк», проработавшая всего полгода, т.к. в начале 2017 г. на ст. «Карлюк» была установлена цифровая аппаратура типа GEOSIG взамен аналоговой и Дельта-Геон. В 2017 г. было продолжено переоснащение сейсмических станций, оснащенных аналоговой аппаратурой, с заменой ее на цифровые комплекты. 26 января на ст. «Карлюк» и 20 июня на ст. «Ванновская» были установлены цифровые комплекты GEOSIG взамен аналоговых. Таким образом, во второй половине 2017 г. почти все стационарные станции были оснащены цифровой аппаратурой типа GEOSIG, кроме ст. «Маныш» и «Овадан-Тепе». На западе Копетдагского региона были поставлены две цифровые станции типа Дельта-Геон в районе курортной зоны Аваза (ст. «Комитет» и «Балкан»).

Несмотря на переоснащение системы стационарных сейсмических станций и открытие новых пунктов наблюдений в 2016–2017 гг., установка высокочувствительных цифровых станций не позволила существенно улучшить энергетическую представительность регистрации землетрясений по сравнению с таковой в 2015 г. [1], о чем свидетельствует сравнение карт K_{3min} за 2015, 2016 и 2017 гг., построенных по методике [2]. Вероятно, это связано с установкой высокочувствитель-

ной аппаратуры преимущественно в местах, где ранее уже функционировали аналоговые или цифровые станции, увеличение которых было оптимальным и определялось уровнем микросейсм.

Таким образом, опираясь на карту $K_{3\min}$ за 2015 г., констатируем, что расположение и оснащение сейсмических станций в 2016–2017 гг. позволяло без пропусков регистрировать землетрясения представительного энергетического уровня: в Балхано-Каспийском (№ 1), Туркмено-Хорасанском (№ 3) и Центрально-Каракумском (№ 5) районах – с $K_p \geq 7.5$; в Эльбурском районе (№ 2) – с $K_p \geq 8$; в Восточном Туркменистане (№ 4) – с $K_p \geq 8.5$ (табл. 1). Определенные таким образом значения $K_{3\min}$ с точностью до $0.5 K_p$ согласуются со значениями энергетической представительности $K_{\gamma \min}$, определенными по точке «загиба» графиков повторяемости землетрясений в отдельных районах и регионе в целом (табл. 1). Исключение составляет Эльбурский район, по которому в силу удаленности от границ Туркменистана и его сейсмических станций обрабатываются не все зарегистрированные землетрясения, особенно на юго-западе района № 2.

Таблица 1. Координаты, площади сейсмоактивных районов и региона в целом, значения энергетической представительности регистрации землетрясений $K_{3\min}$ и $K_{\gamma \min}$ по районам в 2016–2017 гг.

№	Район	$\varphi_1^\circ - \varphi_2^\circ, N$	$\lambda_1^\circ - \lambda_2^\circ, E$	$S, 10^3 \text{ км}^2$	$K_{3\min}$	$K_{\gamma \min}$
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	9
3	Туркмено-Хорасанский	35.0–39.5	55.5–61.0	243	7.5	8
4	Восточный Туркменистан	35.0–42.0	61.0–67.0	407	8.5	9
5	Центрально-Каракумский	39.5–42.0	55.5–61.0	130	7.5	–
	КОПЕТДАГ	35.0–42.0	51.0–67.0	1082	8.5	9

Методика и исходные данные. При обработке записей землетрясений Копетдага, определении кинематических параметров, макросейсмических характеристик ощутимых землетрясений и механизмов очагов использовались методические приемы, подробно описанные в [3]. Полнота регистрации и правильность обработки записей землетрясений контролировались сопоставлением каталога землетрясений Копетдага [Прил. 3] с международными каталогами [4, 5]. Пропущенные землетрясения с $K_p \geq 8.6$ включены в дополнительный список [Прил. 4], в котором расчетные энергетические классы $K_{\text{расч}}$ определены из магнитуд $M_{L\text{ТЕН}}$ [5] с помощью соотношения между ними из [6].

В основном каталоге [Прил. 3.] и на карте эпицентров землетрясений Копетдага (рис. 1) представлены землетрясения с $K_p \geq 8.6$ ($N_\Sigma = 651$), зарегистрированные сейсмическими станциями Туркменистана в границах региона в 2016–2017 гг., а также три ощутимые события с $K_p < 8.6$ и четыре землетрясения с $K_p \geq 11.6$, произошедшие вблизи границ региона за его пределами, но ощущавшиеся на территории Туркменистана. В дополнительный каталог [Прил. 4] вошло семь землетрясений с $K_p \geq 8.6$ (звездочки на рис. 1), не зарегистрированных станциями Туркменистана или не обработанных из-за неуверенных вступлений сейсмических волн. Большинство дополнительных землетрясений локализовано южнее Каспийского моря или в акватории Каспия. Главные причины пропусков землетрясений – удаленность от границ Туркменистана, большие эпицентральные расстояния и, соответственно, нечеткие записи в виде «следа», на которых невозможно выделить моменты прихода P - или S -волн.

Механизмы очагов 83 землетрясений, представленные в [Прил. 5], определены совместно сотрудниками ИСиФА АНТ и филиала Института физики Земли РАН Геофизической обсерватории «Борок» (в Прил. 5 и далее в статье – «КОП + ГО БОРОК») по знакам первых вступлений P -волн на сейсмических станциях Туркменистана, Ирана [5] и международных сетей [4]. Определению большого количества механизмов очагов землетрясений, в том числе для слабых событий ($K_p < 8.6$), способствовало переоснащение сети станций Туркменистана высокочувствительной цифровой аппаратурой.

Карта диаграмм механизмов очагов землетрясений Копетдагского региона за 2016–2017 гг. представлена на рис. 2.

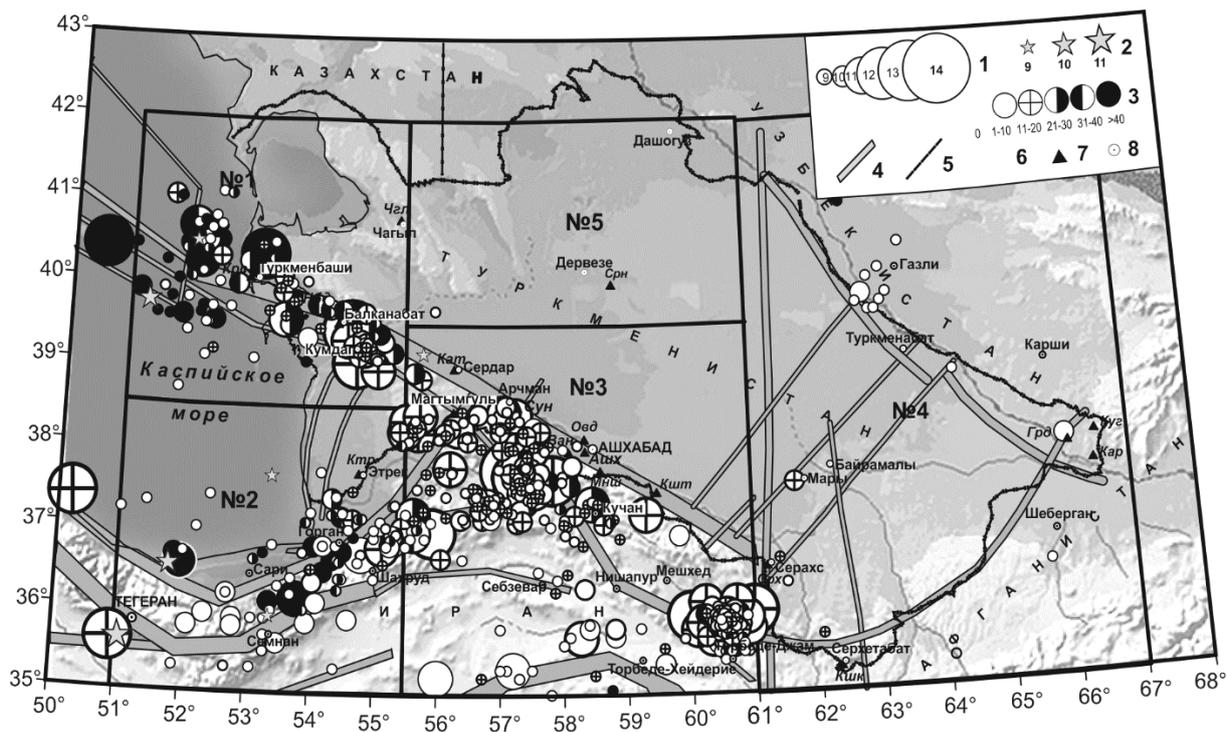


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Копетдага за 2016–2017 гг.

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

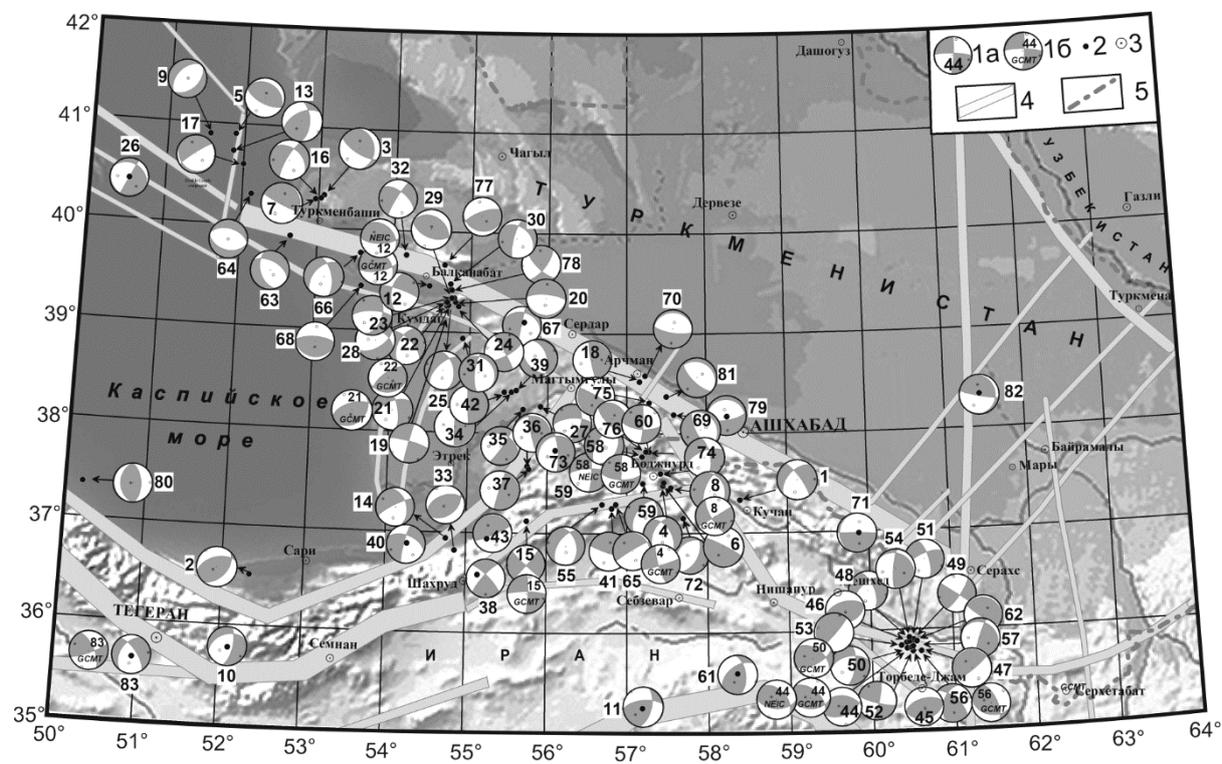


Рис. 2. Диаграммы механизмов очагов землетрясений Копетдага в 2016–2017 гг. в проекции нижней полусферы

1 – диаграмма механизма очага, зачернены области сжатия, номер внутри или рядом с диаграммой соответствует номеру механизма очага в [Прил. 5], 1а – решения КОП+ГО БОРОК, 1б – альтернативные решения (внутри диаграммы указан код агентства); 2 – эпицентр; 3 – город; 4 – сейсмолинеament; 5 – государственная граница.

Анализ данных. Параметры сейсмического режима в 2016 и 2017 гг. на территории всего региона и отдельных сейсмоактивных районов представлены в табл. 2 и 3. При расчетах учитывались только землетрясения из основного (Прил. 3) и дополнительного (Прил. 4) каталогов, произошедшие в границах районов, указанных в табл. 1.

В целом по Копетдагу среднегодовые параметры сейсмического режима в 2016 г. (суммарное число землетрясений представительных по региону энергетических классов $K_p \geq 9$, $N_\Sigma = 190$, сейсмическая активность $A_{10} = 0.036$, выделенная сейсмическая энергия $\Sigma E = 1.3 \cdot 10^{13}$ Дж) были несколько ниже аналогичных долговременных средних значений, определенных для периода 1992–2014 гг. [7] ($N_\Sigma = 216$ для землетрясений с $K_p \geq 9$, $A_{10} = 0.044$, $\Sigma E = 2.5 \cdot 10^{13}$ Дж). В 2017 г. ситуация кардинально изменилась, и все параметры превысили долговременные средние значения – $N_\Sigma = 460$, $A_{10} = 0.088$, $\Sigma E = 2.4 \cdot 10^{14}$ Дж. При этом наклон графика повторяемости ($\gamma = 0.52$ в 2016 г. и $\gamma = 0.53$ в 2017 г.) оставался близким к долговременному среднему $\gamma = 0.5$.

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 за 2016 г.

№	Район	K_p							N_Σ ($K_p \geq 8.6$)	ΣE , 10^{12} Дж	γ	A_{10}	ΔK
		8	9	10	11	12	13	14					
1	Балхано-Каспийский	121	28	10	–	1	1	–	40	8.54	0.43	0.0804	8–13
2	Эльбурский	55	32	9	3	–	–	–	44	0.287	0.51	0.0611	9–11
3	Туркмено-Хорасанский	217	66	19	8	3	–	–	96	4.28	0.46	0.095	8–12
4	Восточный Туркменистан	8	9	–	–	–	–	–	9	0.0109	–	–	–
5	Центрально-Каракумский	6	1	–	–	–	–	–	1	0.0011	–	–	–
	КОПЕТДАГ	407	136	38	11	4	1		190	13.12	0.52	0.0364	9–13

Таблица 3. 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 за 2017 г.

№	Район	K_p							N_Σ ($K_p \geq 8.6$)	ΣE , 10^{12} Дж	γ	A_{10}	ΔK
		8	9	10	11	12	13	14					
1	Балхано-Каспийский	129	41	17	7	1	–	–	66	3.59	0.50	0.097	8–12
2	Эльбурский	60	36	17	2	1	–	–	56	2.85	0.56	0.072	8–11
3	Туркмено-Хорасанский	531	229	66	26	4	2	1	328	237.06	0.48	0.26	8–14
4	Восточный Туркменистан	13	7	3	–	–	–	–	10	0.038	–	–	–
5	Центрально-Каракумский	3	–	–	–	–	–	–	0	0.00026	–	–	–
	КОПЕТДАГ	736	313	103	35	6	2	1	460	243.54	0.53	0.088	9–14

Рассмотрим более детально особенности проявления сейсмичности в отдельных сейсмоактивных районах.

В **Балхано-Каспийском районе (№ 1)** большинство эпицентров землетрясений за анализируемый период было приурочено к сейсмолинеаментам запад–северо-западного простирания (Большебалхан-Каспийскому и Прибалхано-Апшеронскому) и к переходной зоне между ними – Прибалханскому прогибу. Сохранилась большая область повышенной сейсмичности в акватории Каспийского моря, связанная как с продолжением вышеуказанных сейсмолинементов в Каспийском море, так и с пересекающим их меридиональным Каспийским разломом (рис. 1).

По выделенной сейсмической энергии максимальными в 2016 г. были землетрясения 14 апреля в $14^h 23^m$ с $K_p = 11.6$ около г. Туркменбаши (Красноводское плато) и 26 октября в $14^h 15^m$ с $K_p = 12.9$ вблизи г. Балканабада (Большебалхан-Каспийский сейсмолинемент) (рис. 3). Интенсивность сотрясений в их эпицентрах оценивается в $I_0 = 3–4$ балла и $I_0 = 5–6$ баллов соответственно. Первое землетрясение ощущалось в г. Туркменбаши ($\Delta = 36$ км, $h = 45$ км) с интенсивностью до 2 баллов, при втором в г. Балканабаде ($\Delta = 19$ км, $h = 25$ км) жители почувствовали 4–5-балльные сотрясения. Оба землетрясения сопровождалось небольшим количеством слабых афтершоков (рис. 3), что характерно для землетрясений Красноводского плато и Большебалхан-Каспийского сейсмолинеамента. До конца 2016 г. в районе очага землетрясения 14 апреля не зафиксировано

ни одного афтершока с $K_p \geq 8.6$, а землетрясение 26 октября в 2016 г. имело лишь один афтершок выше указанного энергетического порога, произошедший через 13.5 часов после основного толчка, 27 октября в 03^h41^m с $K_p=9.5$.

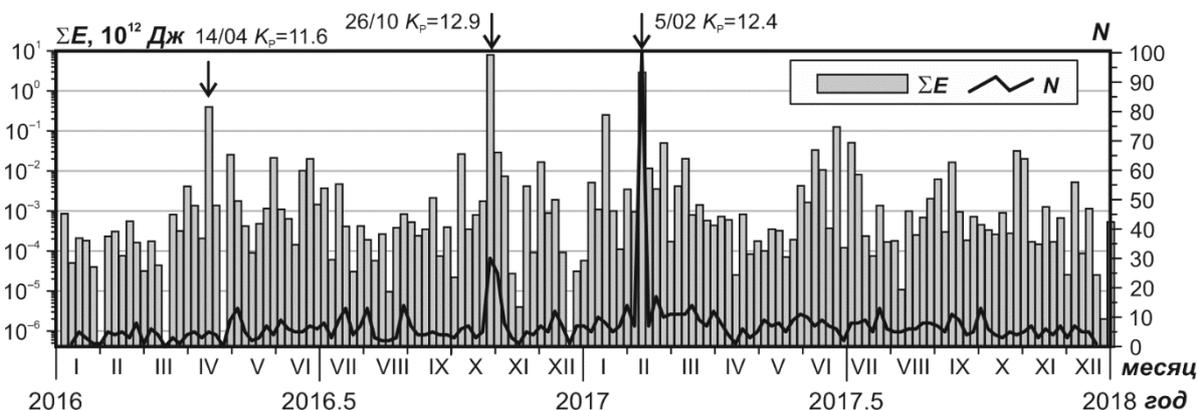


Рис. 3. Распределение сейсмической энергии ΣE и количества N всех зарегистрированных землетрясений Балхано-Каспийского района ($K_p=2-13$) по 5-суточным интервалам в период 2016–2017 гг.

В очаге землетрясения 14 апреля (№3 на рис. 2) произошел взброс по крутой плоскости юго-восточного простирания, или надвиг по близмеридиональной плоскости, падающей на восток. Взбросо-надвиговый тип механизма типичен для очагов Краснодарского плато, где произошло это землетрясение.

В очаге землетрясения 26 октября (№ 12 на рис. 2), по данным КОП+ГО БОРОК, произошел сдвиг с небольшими компонентами сброса по плоскости северо-западного или юго-юго-западного простирания. Решения мировых агентств, в частности, GCMT и NEIC, близки между собой, но отличны от вышеописанного. Они характеризуют взбросо-сдвиг по плоскостям северо-западного или близширотного простирания. Общей для всех решений является плоскость северо-западного простирания, падающая на северо-восток. С учетом северо-западной ориентации ближайших разломов и сейсмолинеаментов, а также процесса надвига Большого Балхана на Прибалханский прогиб, на границе которых локализовано землетрясение, именно эта плоскость является действующей с тектонической точки зрения.

Очевидно, землетрясение 26 октября 2016 г. вызвало разрядку напряжений в очаговой зоне и их концентрацию по периферии, что привело к серии ощутимых толчков 5–6 февраля 2017 г. в районе пос. Кум-Даг в 30 км к югу от очага 26 октября 2016 года. Район Кум-Дага расположен в районе восточного окончания Прибалхано-Апшеронского (Челекен-Кумдагского) разлома, разделяющего зону перехода от приподнятого и продолжающего подниматься Кубадаг-Большешалханского блока на севере и испытывающую погружение в новейшее время Южно-Каспийскую впадину на юге. Район характеризуется повышенной сейсмической активностью и группированностью землетрясений. Одно из наиболее известных здесь сильных землетрясений – Кумдагское 14.03.1983 г. с $K_p=13.8$, $MLH=5.7$, $I_0=8$ [8, 9], очаг которого вышел на поверхность в виде разрыва длиной более 20 км [8, 9].

Землетрясение 5 февраля 2017 г. в 10^h39^m с $K_p=10.7$, локализованное в 16 км восточнее г. Кум-Дага, ощущалось его жителями с интенсивностью до 2 баллов. Оно явилось форшоком основного толчка с $K_p=12.4$, который произошел в 13^h46^m того же дня. Интенсивность в эпицентре главного толчка составила 5 баллов, а в Кум-Даге ощущались 4-балльные сотрясения. Ощутимый афтершок был зафиксирован в этот же день в 15^h59^m с $K_p=11.2$. Его интенсивность в Кум-Даге составила 3 балла. 6 февраля в 12^h54^m в Кум-Даге произошел еще один трехбалльный афтершок с $K_p=11.0$. Только в течение 5–6 февраля 2017 г. в данной очаговой зоне зафиксировано более 100 кучно расположенных сейсмических событий. Как видно из рис. 3, землетрясение 5 февраля 2017 г. с $K_p=12.4$ имело гораздо больше афтершоков, чем более сильный толчок 26 октября 2016 г. с $K_p=12.9$.

По данным КОП+ГО БОРОК, механизмы очагов главного толчка (№ 21 на рис. 2) и его форшока 5 февраля (№ 19), а также большинства афтершоков (№ 22, 23, 24, 25, 28, 30), представляют собой сбросо-сдвиги по плоскостям северо-западной или северо-восточной ориентации.

Этот тип механизма согласуется с механизмами очагов Кумдагского землетрясения 14.03.1983 г. и его афтершоков, а плоскость северо-западного простираения соответствует ориентации ближайшего Челекен-Кумдагского разлома.

В акватории Каспийского моря максимальным было землетрясение 6 февраля 2017 г. с $K_p=11.7$, локализованное вблизи западной границы района № 1, но за его пределами (рис. 2).

Значения сейсмической активности в 2016 г. ($A_{10}=0.08$) и в 2017 г. ($A_{10}=0.097$) мало изменились по сравнению со значением $A_{10}=0.087$ за предыдущий год. Параметры числа зарегистрированных в 2016 г. и 2017 г. землетрясений с $K_p \geq 9$ ($N_\Sigma=40$ и $N_\Sigma=66$ соответственно) и выделенной сейсмической энергии ($\Sigma E=8.54 \cdot 10^{12}$ Дж и $\Sigma E=3.59 \cdot 10^{12}$ Дж соответственно) варьируют вокруг аналогичных параметров за 2015 г. ($N_\Sigma=50$ и $\Sigma E=6.94 \cdot 10^{12}$ Дж) при отсутствии выдающихся сейсмических событий с $K_p > 13$. Повышенное число землетрясений с $K_p \geq 9$ в 2017 г., по сравнению с таковым в 2016 г., при меньшем значении выделенной сейсмической энергии связано с большим количеством фор- и афтершоков землетрясения 5 февраля 2017 г. с $K_p=12.4$ и, наоборот, слабыми афтершоковыми процессами максимальных в 2016 г. землетрясений 14 апреля ($K_p=11.6$) и 26 октября ($K_p=12.9$). В целом можно констатировать, что сейсмический процесс в районе № 1 в 2015–2017 гг. протекал в фоновом режиме.

В Эльбурском районе (№ 2) самым крупным сейсмическим событием за период 2016–2017 гг. было землетрясение 20 декабря 2017 г., в 19^h57^m с $K_p=12.4$, $M_s=4.1$, $M_w=4.9$ (Прил. 3), и локализованное вблизи западной границы района № 3, в 40 км к юго-западу от г. Тегерана, столицы Ирана. Хотя эпицентр этого землетрясения расположен вне условных границ района № 2, с учетом его небольшой удаленности от западной границы (4 км) это землетрясение включено в расчет параметров сейсмического режима, представленных в табл. 2. По данным USGS [10], землетрясение ощущалось в 34 населенных пунктах, с интенсивностью от 6 баллов в ближайшем пункте Ирана, ш. Махдашт, до 2 баллов в удаленных на 185–1559 км населенных пунктах Ирана, Афганистана, Израиля, ОАЭ [Прил. 6]. Согласно данным ISC [4] и IrSC [5], землетрясение имело крупный афтершок 26 декабря в 21^h24^m с $m_{bISC}=3.8$, внесенный в дополнительный каталог [Прил. 4]. Энергетический класс $K_p=10.7$ рассчитан из локальной магнитуды $M_{Lтен}=4.2$ Иранского сейсмологического центра IrSC [5] с использованием соотношения между K_p и $M_{Lтен}$ из [6]. Афтершок ощущался с интенсивностью от 2 до 4 баллов в 14 населенных пунктах. Сведений о проявлении этих землетрясений на территории Туркменистана не поступало.

В 2016 г. все три сейсмических события с $K_p=11$ произошли на иранской территории: 16 января в 05^h31^m и 23 марта в 07^h48^m южнее Каспийского моря, 2 декабря в 22^h29^m – юго-восточнее г. Горгана. Землетрясение 23 марта ощущалось в иранских городах Нур (4 балла) и Сари (3 балла). В 2017 г. в районе № 2 зарегистрировано еще два события с $K_p=11$: 22 августа в 13^h49^m восточнее г. Горгана и вышеупомянутое землетрясение 26 декабря в 21^h24^m южнее Каспия, оба на территории Ирана.

За пределами района № 2, на расстоянии около 65 км от его западной границы, в акватории Каспия, 5 декабря 2017 г. в 15^h27^m зарегистрировано землетрясение с $K_p=12.2$. По данным USGS [10, Прил. 5], оно ощущалось в семи населенных пунктах Ирана и Афганистана с интенсивностью от 2 до 5 баллов.

Что касается параметров сейсмического режима в целом по району, то в 2016 г. продолжилось снижение сейсмической активности, начавшееся в 2013 г. [3]: в 2016 г. на территории района выделилось $\Sigma E=0.29 \cdot 10^{12}$ Дж сейсмической энергии по сравнению с $\Sigma E=0.92 \cdot 10^{12}$ Дж в 2015 г.; значение сейсмической активности уменьшилось от $A_{10}=0.086$ в 2015 г. до $A_{10}=0.0611$ в 2016 г., а количество землетрясений с $K_p \geq 8.6$ осталось на прежнем уровне (44 против 47 в 2015 г.). В 2017 г. число землетрясений с $K_p \geq 8.6$ и выделенная сейсмическая энергия ($N_\Sigma=56$ и $\Sigma E=2.85 \cdot 10^{12}$ Дж) превысили уровни двух предыдущих лет, а сейсмическая активность ($A_{10}=0.072$) испытала рост, приблизившись к уровню активности в 2015 году. При этом надо отметить, что наклон графика повторяемости также существенно вырос ($\gamma=0.51$ в 2016 г. и $\gamma=0.56$ в 2017 г. по сравнению с аномально низким $\gamma=0.3$ в 2015 г.), отражая изменение соотношения количества слабых и сильных землетрясений в пользу слабых с $K_p < 11$.

В Туркмено-Хорасанском районе (№ 3) в 2016 г. сейсмическая активность, выделенная сейсмическая энергия и число землетрясений с $K_p \geq 8.6$, равные $A_{10}=0.095$, $\Sigma E=4.28 \cdot 10^{12}$ Дж, $N_\Sigma=96$,

оставались примерно на уровне 2015 г. ($A_{10}=0.076$, $\Sigma E=8.44 \cdot 10^{12}$ Дж, $N_{\Sigma}=98$). В 2017 г. все параметры существенно возросли ($A_{10}=0.26$, $\Sigma E=237.06 \cdot 10^{12}$ Дж, $N_{\Sigma}=328$), что связано с возникновением в районе № 3 двух крупнейших за анализируемый период времени землетрясений: 5 апреля 2017 г. с $K_p=14.3$ юго-восточнее иранского г. Мешхеда и 13 мая 2017 г. в районе г. Боджнурда, также на иранской территории (рис. 1, 4). Эти события явились крупнейшими и для территории всего Копетдагского региона в 2016–2017 гг.

Следует отметить, что 2016 г. был относительно «спокойным» и отмечен сейсмическими событиями не выше $K_p=12.0$. Наиболее крупные из них произошли на территории Ирана: 14 марта с $K_p=11.5$ вблизи г. Кучана, 24 мая и 29 июня с $K_p=12.0$, 14 июля с $K_p=11.3$ – в районе г. Боджнурда, 25 октября с $K_p=11.3$ – на южной границе района, 27 декабря с $K_p=12.0$ – на его западной границе в 100 км к северо-востоку от г. Шахруда (рис. 1, 4). Все землетрясения, произошедшие в Кучанской и Боджнурдской зонах, ощущались в Ашхабаде ($\Delta=70-93$ км) с интенсивностью до 3 баллов [Прил. 6].

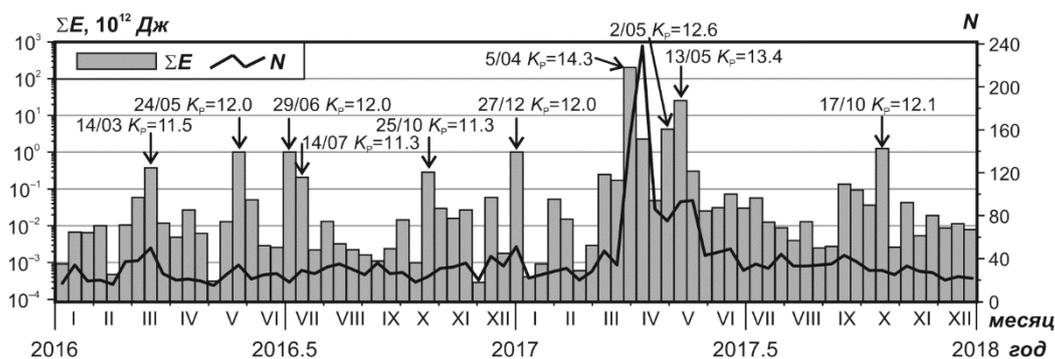


Рис. 4. Распределение выделенной сейсмической энергии ΣE и количества землетрясений N с $K_p \geq 6.6$ Туркмено-Хорасанского района по 10-суточным интервалам в период 2016–2017 гг.

В 2016 г. продолжалась активизация сейсмичности в районе г. Магтымгулы, начавшаяся еще в 2012 г. роим из 50 слабых землетрясений. Самое крупное событие, произошедшее в этом районе в период активизации, было зафиксировано восточнее г. Магтымгулы (Туркменистан) 13 февраля 2014 г. с $K_p=12.8$. В 2016 г. в этой зоне произошли два ощутимые землетрясения: 21 февраля в 06^h23^m ($K_p=9.8$) восточнее г. Магтымгулы и 4 марта в 14^h17^m ($K_p=10.7$) – южнее. Эти события ощущались в городе с интенсивностью до двух и трех баллов соответственно.

2017 г. характеризуется активизацией сейсмодеформационных процессов как в центре, так и на периферии района № 3.

14 марта 2017 г. в 04^h05^m, 04^h06^m и 04^h44^m западнее г. Магтымгулы произошли сразу три толчка с $K_p=10.9$, ощущавшиеся в ближайшем пос. Гызылбаир ($\Delta=10$ км) с интенсивностью 2 балла. Через пять дней, 19 марта в 14^h55^m, здесь возник еще один толчок подобной энергии ($K_p=11.2$), вызвавший 2–3-балльные сотрясения в Гызылбаире. Учитывая близость во времени и пространстве, а также небольшое различие в энергетических классах, эту серию можно считать роим, в состав которого входили также более слабые толчки. Так, в период 14–23 марта из этого очага зарегистрировано еще семь сейсмических событий с $K_p=9-10$. Интересно, что два толчка этой серии, 14 марта в 04^h05^m с $K_p=10.9$ и 23 марта в 04^h44^m с $K_p=9.4$, имели абсолютно идентичный механизм очага, нетипичный для землетрясений Копетдага, – взрез по меридиональной плоскости (№ 34 и 42 соответственно, см. рис. 2). Крупнейший толчок этой серии, 19 марта в 14^h55^m с $K_p=11.2$ (№ 39), представлял собой сброс по плоскости северо-западного простирания.

Выдающимся стало землетрясение 5 апреля 2017 г. с $K_p=14.3$, $M_{SISC}=M_{WGCMT}=6.0$, максимальное в районе № 3 за 20-летний период после Боджнурдского землетрясения 04.02.1997 г. с $MS=6.6$, $I_0=8$ [11]. В Туркменистане землетрясение 5 апреля ощущалось, по сообщениям заведующих сейсмическими станциями, с интенсивностью 3 балла в г. Серахсе (101 км) и г. Серхетабаде (190 км), до 2–3 баллов – в г. Ашхабаде (289 км). На иранской территории, по данным [10], это событие с максимальной интенсивностью 6 баллов проявилось в г. Торбете Джам (77 км), а жители 14 населенных пунктов ощущали сотрясения от 2 до 5 баллов в зависимости от

удаленности. Землетрясение сопровождалось большим количеством афтершоков, но из-за больших эпицентральных расстояний до сейсмических станций Туркменистана Только за 5 апреля число событий с $K_p \geq 8.6$ в радиусе 30 км от эпицентра главного толчка составило 35, а до конца года число афтершоков с $K_p = 8.6-12.6$ достигло $N=177$. Район был наиболее активным в течение апреля. Более подробно землетрясение описано в статье [12], размещенной в настоящем выпуске журнала.

Второе по величине землетрясение района № 3 произошло 13 мая 2017 г. в 18^h01^m с $K_p=13.4$, $M_{SISC}=5.5$, $M_{WGCMT}=5.7$ в 28 км к северу от иранского г. Боджнурда в очаговой зоне Боджнурдского землетрясения 04.02.1997 г. [11]. В Боджнурде ($\Delta=24$ км) землетрясение ощущалось с интенсивностью 7 баллов, в других городах Ирана и Афганистана – от 4 до 2 баллов. На территории Туркменистана ощущались 4-балльные сотрясения в г. Ашхабаде ($\Delta=98$ км) и пос. Энев ($\Delta=108$ км). В течение 2017 г. в очаговой зоне зарегистрированы афтершоки в диапазоне энергетических классов $5 \leq K_p \leq 12$, из них 26 – с $K_p \geq 8.6$. Более подробные сведения об этом землетрясении приводятся в [12].

В Восточном Туркменистане (№ 4) в 2016–2017 гг. наибольшее число землетрясений зарегистрировано в Газлийской очаговой зоне (восемь событий с $K_p=9$ и одно с $K_p=10$). На территории Афганистана лоцировано лишь два толчка с $K_p=9$. Особенностью сейсмичности рассматриваемого периода является то, что помимо традиционно активных зон на территориях сопредельных государств, отмечается ряд землетрясений на территории Туркменистана, в том числе два толчка с $K_p=10$ в районах г. Мары и г. Гаурдака, а также несколько событий с $K_p=9$ в окрестностях г. Серахса и г. Серхетабада (рис. 1).

Самым необычным событием на территории Восточного Туркменистана является землетрясение 14 декабря 2017 г. с $K_p=10.2$ вблизи г. Мары, в районе газового месторождения «Шатлык», где на протяжении нескольких десятилетий не регистрировались землетрясения подобной энергии.

10 апреля 2016 г. на территории Туркменистана, в г. Магданлы, ощущались двухбалльные сотрясения от землетрясения с $M_{WGCMT}=6.6$, локализованного за пределами региона на территории западного Афганистана.

Выделенная на территории района № 4 сейсмическая энергия и число зарегистрированных землетрясений с $K_p \geq 8.6$ ($\Sigma E = 0.011 \cdot 10^{12}$ Дж, $N_{\Sigma(K \geq 8.6)} = 9$ в 2016 г. и $\Sigma E = 0.038 \cdot 10^{12}$ Дж, $N_{\Sigma(K \geq 8.6)} = 10$ в 2017 г.) снизились по сравнению с таковыми в 2015 г. ($\Sigma E = 0.71 \cdot 10^{12}$ Дж, $N_{\Sigma(K \geq 8.6)} = 13$).

В Центральном-Каракумском районе (№ 5) в 2016–2017 гг. зарегистрировано 18 землетрясений, из них одно с $K_p=9$ и девять с $K_p=8$. Большинство из них локализовано на юго-востоке района № 5 и в его центре, в районе Центральном-Каракумского свода.

Заключение. Сейсмический процесс на территории Копетдагского региона в 2016 г. развивался при пониженных параметрах сейсмической активности A_{10} и выделенной сейсмической энергии ΣE относительно долговременных средних значений. В 2017 г. произошла его активизация, обусловленная, главным образом, возникновением 5 апреля 2017 г. максимального в Туркмено-Хорасанском районе за предыдущие 20 лет сейсмического события с $K_p=14.3$ ($M_w=6.0$). Землетрясение произошло на юго-востоке района № 3 между иранскими городами Торбете Джам и Мешхед, где оно ощущалось с интенсивностью 6 и 5 баллов соответственно. В Туркменистане сотрясения от этого землетрясения проявились в городах Серахсе и Серхетабаде – 3 балла, в Ашхабаде – 2–3 балла. Наибольшее количество сейсмической энергии в 2016 г. выделилось на территории Балхано-Каспийского района, в 2017 г. – Туркмено-Хорасанского.

В подготовке электронных приложений к данной статье принимали участие: Г.Ч. Сарыева, Е.Н. Безменов, Л.В. Безменова, Г.М. Бахтиярова, Г. Велиева, И.А. Дурасова, В.И. Левина, Н.А. Лукаш, Н.В. Петрова, В.А. Петров, С.Г. Пойгина, Т. Смирнова, С. Союнмурадова, М. Союнова, Б. Тачов, А.Т. Халаева, Т. Халыева, О.С. Хрулёва, А. Эсенова.

Электронное приложение App04_Kopetdag_2016–2017 (<http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>): 1 – Сейсмические станции Копетдага и их параметры в 2016–2017 гг.; 2 – Сведения о пунктах расположения сейсмических станций Туркменистана в 2016–2017 гг. и их переименованиях; 3 – Каталог землетрясений с $K_p \geq 8.6$ Копетдага за 2016–2017 гг.; 4 – Дополнительный список землетрясений, не вошедших в основной каталог землетрясений Копетдага за 2016–2017 гг.; 5 – Каталог механизмов очагов землетрясений Копетдага за 2016–2017 гг.; 6 – Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений в населенных пунктах Копетдага в 2016–2017 гг.; 7 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Туркменистана за 2016–2017 гг.

Л и т е р а т у р а

1. 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
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 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. International Seismological Centre. (2022). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
5. Iranian Seismological Centre. (2022). Online Databank. – URL: <http://irsc.ut.ac.ir/bulletin.php>
6. 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.
7. 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
8. Борисов В.А., Рогожин Е.П. Кумдагское землетрясение 14 марта 1983 года: материалы геологического изучения. – М.: ДАН СССР, 1984. – 227. – № 4. – С. 157–161.
9. Аннаорова Т.А., Изюмов С.Ф., Кузьмин Ю.О., Петрова Н.В. Изучение очаговых зон сильных землетрясений в Западной Туркмении // Изв. АН ТССР. Сер. ФТХиГН. – 1989. – № 3. – С. 72–78.
10. Search Earthquake Catalog // USGS [Site]. – URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
11. 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.
12. Петрова Н.В., Сарыева Г.Ч., Безменова Л.В., Курова А.Д. Сильные и ощутимые землетрясения Туркмено-Хорасанских гор в 2017 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – С. 315–326. DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.29. EDN: JPXWLN

SEISMICITY of the KOPETDAG REGION in 2016–2017

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

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

²Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Obninsk, Russia, npetrova@gsras.ru

Abstract. In 2016–2017, seismic monitoring in the Kopetdag region was carried out by a network of 34 seismic stations of the Institute of Seismology and Atmospheric Physics of the Academy of Sciences of Turkmenistan. This network included 20 stationary and 14 mobile stations. Within just 2 years, 651 earthquakes with $K_R \geq 8.6$ have been registered, of which 41 were tangible. Focal mechanisms were determined for 83 seismic events. In Turkmenistan, the strongest and most felt earthquakes occurred in the Balkhan-Caspian region: on October 26, 2016 with $K_R=12.9$ ($M_w=5.5$) and on February 5, 2017 with $K_R=12.4$ ($M_w=5.0$). The first event was felt in Balkanabat city with intensity of 4–5, the second – in Kumdag settlement with intensity of 4. Among the earthquakes outside of Turkmenistan, the events of the Turkmen-Khorasan area stand out with the highest magnitude and shaking intensity: April 5, 2017 with $K_R=14.3$, $M_w=6.0$ and May 13, 2017 with $K_R=13.4$, $M_w=5.7$. The first event was felt with intensity of $I=6$ in the Iranian city of Torbet Jam and with $I=5$ in several settlements. Among the seismoactive areas of the Kopetdag region, the largest amount of seismic energy in 2016 was released on the territory of the Balkhan-Caspian area, in 2017 – in the Turkmen-Khorasan area.

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

DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.07. **EDN:** QYHBBK

For citation: Saryeva, G.Ch., Petrova, N.V., & Bezmenova, L.V. (2022). [Seismicity of the Kopetdag region in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017), 87–96. (In Russ.). DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.07. EDN: QYHBBK

R e f e r e n c e s

1. 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

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 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. International Seismological Centre. (2022). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
5. Iranian Seismological Centre. (2022). Online Databank. Retrieved from <http://irsc.ut.ac.ir/largevents.php>
6. Petrova, N.V., Bezmenova, L.V., Saryeva, G.Ch., & Charyyev, M.M. (2011). [Kopetdag]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2005 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2005] (pp. 112–127). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
7. 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
8. Borisov, V.A., & Rogozhin, E.A. (1984). Kumdag earthquake (March 14, 1983) – materials of a geological study. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, 277(4), 157–161. (In Russ.).
9. Annaorazova, T.A., Izyumov, S.F., Kuzmin, Yu.O., & Petrova, N.V. (1989). [Study of source zones of strong earthquakes in Western Turkmenistan]. *Izv. AN TSSR. Ser. FTHiGN* [Proceedings of the Academy of Sciences of the TSSR. Physical-technical, chemical and geological science series], 3, 72–78. (In Russ.).
10. USGS. (2020). Search Earthquake Catalog. Retrieved from <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
11. 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 *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 1997 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 1997] (pp. 199–218). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
12. Petrova, N.V., Saryeva, G.Ch., Bezmenova, L.V., & Kurova, A.D. (2022). [Strong and tangible earthquakes in the Turkmen-Khorasan mountains in 2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017), 315–326. (In Russ.). DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.29. EDN: JPXWLN