

УДК 550.348. (575.4)

СЕЙСМИЧНОСТЬ КОПЕТДАГСКОГО РЕГИОНА в 2020 году

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

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

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

Аннотация. Регистрация землетрясений Копетдагского региона в 2020 г. осуществлялась сетью из 34 сейсмических станций Института сейсмологии и физики атмосферы Академии наук Туркменистана. Всего в публикуемый каталог включено 219 землетрясений с $K_p \geq 8.6$, из них 16 – ощутимые, включая одно за пределами Копетдагского региона. Для 37 землетрясений определены механизмы очагов. Три самые крупные сейсмические события региона с $K_p=13$, произошедшие 6 сентября, 26 сентября и 25 ноября в Эльбурском и Туркмено-Хорасанском районах, в зоне Эльбурс-Копетдагского сейсмолинеамента северо-восточного простирания, обозначили направление развития единого сеймотектонического процесса с продвижением эпицентров на северо-восток, вдоль указанного сейсмолинеамента. Механизмы очагов всех трех событий являются левосторонними сдвигами с нодальными плоскостями, ориентированными на северо-восток, вдоль сейсмолинеамента. Еще одно землетрясение с $K_p=13$ зарегистрировано 2 января 2020 г. с $K_p=12.9$ за пределами региона, в 213 км юго-западнее г. Серхетабада (Туркменистан), где оно ощущалось с интенсивностью 2 балла. Максимальными по ощутимости на территории Туркменистана были землетрясения 26 сентября и 25 ноября с $K_p=13$, которые проявились в ближайших населенных пунктах с интенсивностью 4 балла. В целом по Копетдагскому региону в 2020 г. суммарное число представительных землетрясений с $K_p \geq 8.6$ ($N_\Sigma=219$), сейсмическая активность ($A_{10}=0.041$) и выделенная сейсмическая энергия ($\Sigma E=6.7 \cdot 10^{13}$ Дж) повысились по сравнению с параметрами предыдущего года, приблизившись к долговременным средним значениям.

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

Для цитирования: Сарыева Г.Ч., Безменова Л.В., Петрова Н.В. Сейсмичность Копетдагского региона в 2020 году // Землетрясения Северной Евразии. – 2024. – Вып. 27 (2020). – С. 81–90. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.07> EDN: ESTODM

Введение. Сейсмичность Копетдагского региона, расположенного в границах: $\varphi=35-42^\circ\text{N}$, $\lambda=51-67^\circ\text{E}$, обусловлена сближением Аравийской и Евразийской плит, вызывающим активное сжатие Иранской плиты, расположенной на юге Евразии, со скоростью примерно 30–35 мм/год [1]. Обусловленные этим процессом землетрясения сосредоточены в сейсмических поясах, самые крупные из которых – Балхано-Копетдагский и Балхано-Апшеронский на территории Туркменистана и в акватории Каспийского моря, Эльбурс-Копетдагский на территории Ирана. Сейсмичность сосредоточена в основном на юге и северо-западе региона, северные, центральные и восточные области Туркменистана, относящиеся к Каракумской платформе, практически асейсмичны. Однако и здесь периодически возникают слабые и умеренные землетрясения, что не исключает активизации этих участков в будущем. На территории Туркменистана проводится постоянный сейсмический мониторинг, результаты которого за 2020 г. описаны в данной статье. Проведение сейсмологических наблюдений и обработка их результатов выполнялись в 2020 г. сетью сейсмических станций и сотрудниками Института сейсмологии и физики атмосферы Академии наук Туркменистана (ИСиФА АНТ).

Сеть сейсмических станций Туркменистана, контролирующей сейсмичность Копетдагского сейсмоактивного региона, в 2020 г. оставалась неизменной по сравнению с таковой в течение двух предыдущих лет. Она состояла из 34 станций – 20 стационарных, расположенных на всей территории Туркменистана, и 14 передвижных, входящих в локальную сеть в Центральном Копетдаге [Прил. 1, 2]. Стационарные станции оснащены цифровой аппаратурой типа GEOSIG, кроме аналоговой ст. «Овадан-Тепе» и ст. «Геокча», где стоит аппаратура корпорации IRIS. Передвижные станции работают на цифровой аппаратуре типа Дельта-Геон-02 и 03. В 2020 г. на

станциях «Ашхабад», «Маньш» и «Гермаб» дополнительно были установлены комплексы цифровой аппаратуры GEOSIG AC-73 для регистрации сильных землетрясений. Использование цифровых станций позволяет резко повысить точность определения параметров землетрясений, применять при обработке записей землетрясений фильтрацию и другие математические методы, облегчает задачу хранения сейсмологических материалов. Совместное использование данных региональной и локальной сетей дает возможность более детально выявлять особенности проявления сейсмичности в сейсмоактивных зонах Туркменистана.

Поскольку за последние годы сеть сейсмических станций Туркменистана мало изменилась, об энергетической представительности регистрации землетрясений в 2020 г., рассчитанной по методике [2], можно судить по карте K_{3min} , представленной в обзоре сейсмичности Копетдагского региона за 2015 г. [3]. Существующая сеть позволяет без пропусков регистрировать землетрясения представительного энергетического уровня: в Балхано-Каспийском (№ 1), Туркмено-Хорасанском (№ 3) и Центральном-Каракумском (№ 5) районах – с $K_p \geq 7$; в Эльбурском районе (№ 2) – с $K_p \geq 8$; в Восточном Туркменистане (№ 4) и по Копетдагу в целом – 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_s 10^3 км^2	K_{3min}	K_{7min}
1	Балхано-Каспийский	38.5–42.0	51.0–55.5	149	7	7
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	7
4	Восточный Туркменистан	35.0–42.0	61.0–67.0	407	8–9	9
5	Центрально-Каракумский	39.5–42.0	55.5–61.0	130	7	–
	КОПЕТДАГ	35.0–42.0	51.0–67.0	1082	8–9	9

Методика обработки и каталоги. При обработке записей землетрясений Копетдага использовались методические приемы, подробно описанные в [4]. Проверка полноты регистрации и определенных параметров землетрясений осуществлялась путем сопоставления каталога землетрясений Копетдага [Прил. 3] с международными каталогами [5]. В результате некоторые из пропущенных землетрясений 2020 г. были обработаны и включены в каталог [Прил. 3].

Каталог [Прил. 3] содержит 219 землетрясений с $K_p=8.6–13.4$, зарегистрированных сейсмическими станциями Туркменистана. На карте эпицентров (рис. 1) представлены землетрясения из этого каталога, причем три из них, расположенные вне границ Копетдагского региона, присутствуют на рис. 1, а три других, ниже южной границы региона, не показаны на карте. Для самого сильного из последних, произошедшего 2 января 2020 г. в 04^h29^m с $K_p=12.9$ в 213 км юго-западнее г. Серхетабада (Туркменистан) и ощущавшегося в этом городе с интенсивностью 2 балла, определен механизм очага. Остальные землетрясения с пометкой района «0», или «вне региона», были включены в основной каталог решением авторов статьи и *составителей каталога*.

Механизмы очагов 37 землетрясений, представленные в [Прил. 4] и на рис. 2, определены совместно сотрудниками ИСиФА АНТ и Геофизической обсерватории «Борок» Института физики Земли РАН (в [Прил. 4] – «КОП + ГО БОРОК») по знакам первых вступлений P -волн на сейсмических станциях Туркменистана, Ирана и международных сетей [5].

Анализ данных. Параметры сейсмического режима в регионе и в отдельных сейсмоактивных районах представлены в табл. 2. При расчетах учитывались землетрясения из каталога [Прил. 3], произошедшие строго в границах районов, указанных в табл. 1.

Всего в *Копетдагском регионе* в 2020 г. зарегистрировано $N_\Sigma=6937$ сейсмических событий в диапазоне энергетических классов $K_p=2–13$. Это количество понизилось по сравнению с таковым в предыдущие два года (в 2018 г. $N_\Sigma=7207$, а в 2019 г. – $N_\Sigma=10553$), тогда как число сейсмических событий с $K_p \geq 9$ в 2020 г. увеличилось до $N_\Sigma=219$ по сравнению с $N_\Sigma=191$ в 2018 г. и $N_\Sigma=154$ в 2019 г. Поскольку число станций оставалось неизменным, эти изменения могут быть связаны с особенностями тектонических процессов в регионе.

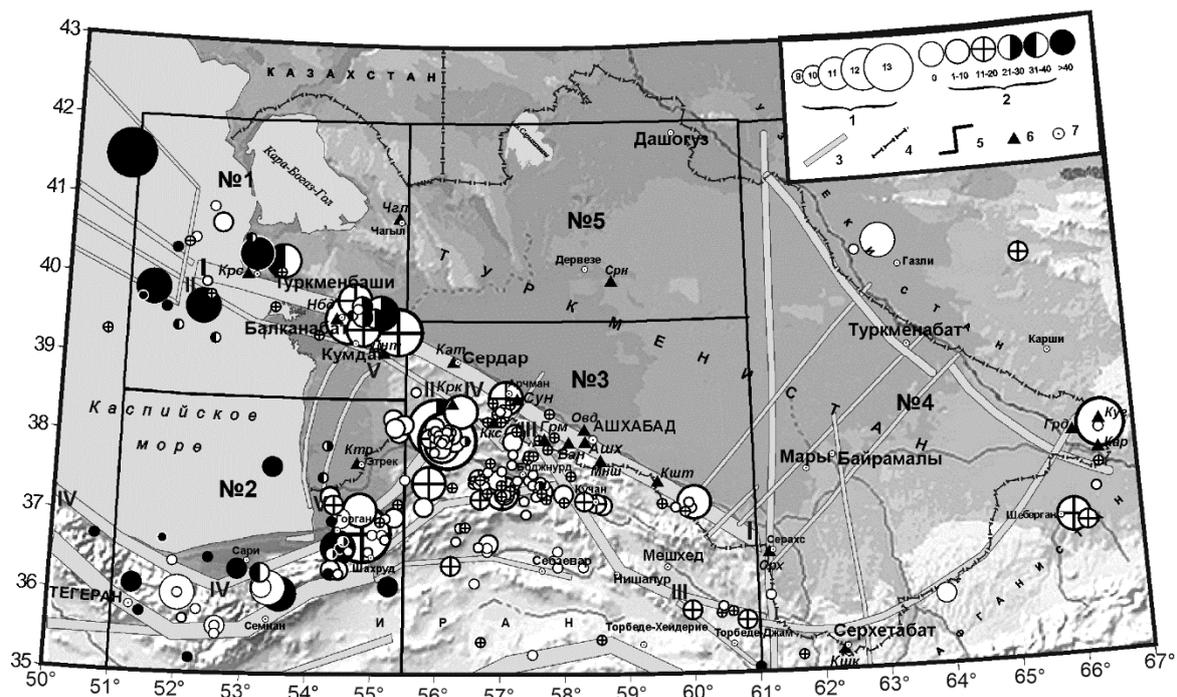


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Копетдага в 2020 г.

1 – энергетический класс K_p ; 2 – глубина гипоцентра h , км (0 – глубина не определена); 3 – сейсмолинеаменты: I–I – Копетдаг-Большебалханский, II–II – Прибалхано-Апшеронский, III–III – Гермабский, IV–IV – Эльбурс-Копетдагский, V–V – Шахманский; 4 – граница Туркменистана; 5 – граница сейсмоактивного района; 6 – стационарная сейсмическая станция; 7 – город.

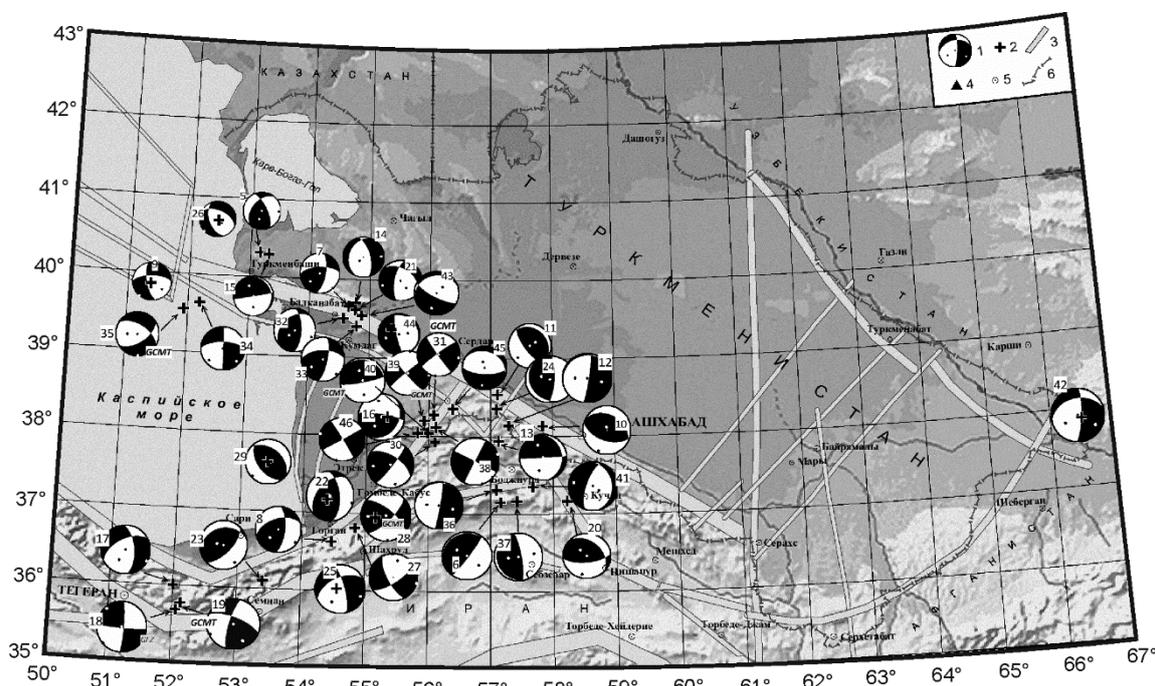


Рис. 2. Диаграммы механизмов очагов землетрясений Копетдага в 2020 г.
 по данным КОП+ГО БОРОК

1 – диаграмма механизма очага в проекции нижней полусферы; 2 – эпицентр землетрясения, для которого определен механизм очага; 3 – сейсмолинеамент; 4 – станция; 5 – город; 6 – государственная граница.

В целом по Копетдагскому региону параметры сейсмического режима за 2020 г. (суммарное число представительных землетрясений с $K_p \geq 8.6$, $N_\Sigma = 219$, сейсмическая активность

$A_{10}=0.041$, выделенная сейсмическая энергия $\Sigma E=6.7 \cdot 10^{13}$ Дж) приблизились к долговременным средним значениям, определенным для периода 1992–2014 гг. [6] ($N_{\Sigma}=216$ для землетрясений с $K_p \geq 8.6$, $A_{10}=0.044$, $\Sigma E=2.5 \cdot 10^{13}$ Дж), и гораздо выше аналогичных значений двух предыдущих лет [7] (в 2018 г. $N_{\Sigma}=191$, $A_{10}=0.037$, $\Sigma E=6.1 \cdot 10^{12}$ Дж; в 2019 г. $N_{\Sigma}=154$, $A_{10}=0.031$, $\Sigma E=4.1 \cdot 10^{12}$ Дж). При этом наклон графика повторяемости $\gamma=0.45$ в 2020 г. ниже как долговременного среднего значения $\gamma=0.5$, так и значений в 2018 г. ($\gamma=0.51$) и в 2019 г. ($\gamma=0.49$). Это означает, что соотношение количества сильных и слабых землетрясений изменилось в 2020 г. в пользу сильных, что может свидетельствовать о консолидации среды. Это подтверждается понижением относительного вклада слабых землетрясений с $K_p \leq 7$ в общее число зарегистрированных событий, который составил 91 %, по сравнению с 95 % в 2019 году.

Высвобождение сейсмической энергии на протяжении года было неравномерным (рис. 3), ее максимальные значения зарегистрированы в сентябре (6 и 26 сентября два сейсмических события с $K_p=13.4$) и ноябре (25 ноября землетрясение с $K_p=13.0$). Максимумы количества землетрясений наблюдались в мае и сентябре (рис. 3 а), однако майский максимум, в отличие от сентябрьского, не сопровождался максимумом выделенной энергии. Ход сейсмического процесса в регионе в 2020 г. характеризует кумулятивный график выделения энергии на рис. 3 б. На графике наибольшую ступень образуют сентябрьские события с $K_p=13.4$, которым предшествует замедление темпов выделения энергии, начавшееся в мае.

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 2020 г.

№	Район	K_p							N_{Σ} ($K_p \geq 8.6$)	$\Sigma E, \cdot 10^{12}$ Дж	γ	A_{10}	ΔK_p
		7	8	9	10	11	12	13					
1	Балхано-Каспийский	114	87	18	4	7	2	0	31	4.64	0.36	0.065	7–12
2	Эльбурский	18	34	27	17	5	0	1	50	25.92	0.37	0.084	9–13
3	Туркмено-Хорасанский	607	259	90	22	6	0	2	120	35.81	0.44	0.116	7–12
4	Восточный Туркменистан	20	14	6	3	2	1	0	12	0.71	0.25	0.008	9–12
5	Центрально-Каракумский	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	КОПЕТДАГ	760	394	141	46	20	3	3	213	67.0928	0.45	0.043	9–13

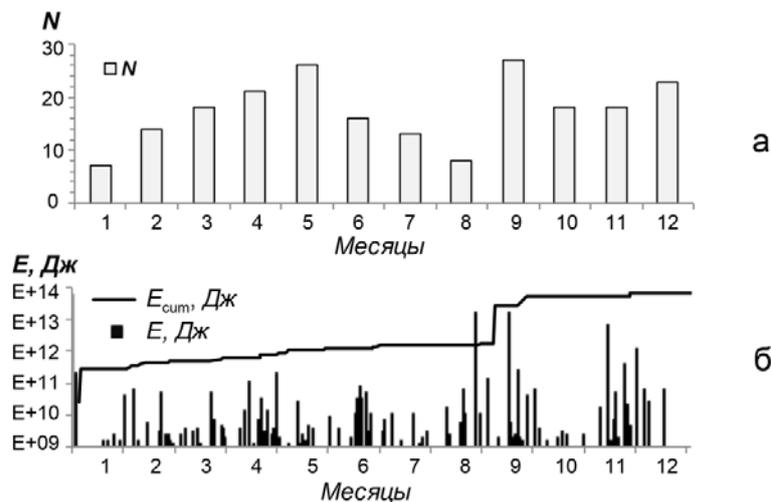


Рис. 3. Распределение количества землетрясений N по месяцам (а) и темпы выделения сейсмической энергии E , Дж (б) в Копетдагском регионе в 2020 г. $E_{\text{сум}}$ – кумулятивный график выделения энергии

В 2020 г. в Копетдагском регионе произошло 16 ощутимых землетрясений, основные параметры которых приведены в [Прил. 5]. Очаги 15 из них находятся на территории Туркменистана.

В **Балхано-Каспийском районе (№ 1)** большинство эпицентров землетрясений за анализируемый период было приурочено к Копетдаг-Большебалханскому сейсмолинеamentу

(I–I на рис. 1) восточнее г. Балканабада, где 6 декабря 2000 г. произошло крупнейшее землетрясение XX–XXI вв. с $MS=7.3$ [8]. Сохранилась область повышенной сейсмичности в акватории Каспийского моря вблизи пересечения Копетдаг-Большебалханского и Прибалхано-Апшеронского (II–II на рис. 1) разломов запад–северо-западного простираения с меридиональным Каспийским разломом (рис. 1). Два землетрясения с $K_p=11$ в сопровождении более слабых событий зафиксированы на территории Красноводского плато севернее г. Туркменбаши.

Сейсмическая активность $A_{10}=0.0648$ в районе № 1 в 2020 г. изменилась незначительно по сравнению с аналогичными годовыми параметрами за два предыдущих года, хотя число землетрясений с $K_p \geq 8.6$ уменьшилось за счет недостатка землетрясений с $K_p=9$ и 10. Выделенная сейсмическая энергия, равная $\Sigma E=4.64 \cdot 10^{12}$ Дж, наоборот, повысилась.

На территории Балхано-Каспийского района в 2020 г. зарегистрированы два максимальные землетрясения с $K_p=12$ в районе Большого Балхана и еще одно такой же величины – вне региона, но в непосредственной близости от западной границы региона, в акватории Каспийского моря.

Максимальным по энергетическому классу является землетрясение 26 сентября 2020 г. в 07^h00^m с $K_p=12.3$. Механизм очага – взброс по близмеридиональной плоскости (№ 32 в [Прил. 4] на рис. 2). После землетрясения афтершоков не наблюдалось. Землетрясение ощущалось в г. Балканабаде с интенсивностью 3–4 балла по шкале MSK-64 [9] (здесь и далее баллы по шкале MSK-64 будем обозначать арабскими цифрами, а баллы по шкале Меркалли [10] – римскими).

Второе по энергии землетрясение с $K_p=12.2$, зафиксированное 13 декабря в 05^h47^m недалеко от г. Берекета, представляло собой сброс по плоскости север–северо-западного простираения (№ 44 в [Прил. 4] и на рис. 2). Оно ощущалось в Берекете с интенсивностью 3 балла.

В отличие от предыдущих лет, слабыми проявлениями сейсмичности характеризовались в 2020 г. Кумдагская и Дянеатинская очаговые зоны, приуроченные к Прибалхано-Апшеронскому линеаменту (II–II), которые ранее генерировали большое количество слабых толчков, часто образующих роевые последовательности. Немногочисленные землетрясения ($N=40$) с $K_p=5.0$ – 7.6 все же наблюдались в радиусе 35 км от Дянеаты.

В Эльбурском районе (№ 2) количество землетрясений с $K_p \geq 8.6$ в 2020 г. составило 23.5 % от общего числа землетрясений, зарегистрированных в регионе за год. Сейсмическая активность $A_{10}=0.084$ и выделенная сейсмическая энергия $\Sigma E=25.92 \cdot 10^{12}$ Дж в 2020 г. повысились по сравнению с $A_{10}=0.051$ и $\Sigma E=0.69 \cdot 10^{12}$ Дж в 2019 году.

Непосредственно на территории Туркменистана зафиксирован рой из четырех землетрясений с $K_p=10$, произошедший 2 мая в 70 км к юго-западу от Этрека, вблизи туркмено-иранской границы, и два землетрясения с $K_p=9$ в зоне Шахманского сейсмолинеамента (V–V на рис. 1). Для одного из четырех роевых землетрясений 2 мая в 16^h56^m с $K_p=9.8$ удалось определить механизм очага – надвиг по плоскости северо-восточного простираения $NP1$, падающей на юго-восток, или взброс по близширотной плоскости $NP2$ (№ 16 на рис. 2). Вероятно, плоскость $NP1$ более актуальна, отражая надвиг горных структур Копетдага на Южно-Каспийскую впадину.

Несомненно, главным событием в районе № 2 в 2020 г. было землетрясение 6 сентября в 21^h34^m с $K_p=13.4$, локализованное восточнее г. Горгана (провинция Хорасан, Иран) в Эльбурской складчатой области (рис. 4). До конца года зарегистрировано семь афтершоков с $K_p=8.6$ – 10.1 и несколько более слабых. По данным USGS [11], землетрясение ощущалось в иранских городах Алиабаде, Горгане, Гомбеде-Кабусе, Минудеште, Имамшехре, Калале, Тегеране с интенсивностью, в зависимости от удаленности, от V до II баллов по шкале Меркалли [10]. Сведений об ощутимости на территории Туркменистана не поступало. В тектоническом отношении очаг локализован вблизи Эльбурс-Копетдагского сейсмолинеамента северо-восточного простираения (IV–IV на рис. 1). Для рассматриваемого события 6 сентября в [Прил. 4] приведены параметры механизма очага по данным КОП+ГО БОРОК (№ 27) и GСMT (№ 28), который представляет собой сдвиг по плоскости северо-восточного или юго-восточного (северо-западного) простираения (рис. 2, 4), с незначительными компонентами сброса (КОП+ГО БОРОК) или взброса (GСMT). Северо-восточное простираение плоскости разрыва, падающей на юго-восток, представляется предпочтительным с точки зрения ее близости как к ориентации ближайшего сейсмолинеамента и активных разломов (рис. 4), так и к простираению и падению одной из нодальных плоскостей механизма очага крупнейшего в этом районе землетрясения 29.10.1985 г. с $K_p=14.1$ [12]. На рис. 4 показаны 14 землетрясений с $K_p \geq 11.6$, произошедших в радиусе 50 км от эпицентра события 6 сентября в 21^h34^m с $K_p=13.4$ за последние 60 лет (с 1961 г. по 2020 г.). За это время вблизи очага 6 сентября произошло еще четыре землетрясения с $K_p=13$ и одно – с $K_p=14$.

Туркмено-Хорасанский район (№ 3) в 2020 г. выделялся среди других районов самой высокой сейсмической активностью ($A_{10}=0.116$) и выделенной сейсмической энергией ($\Sigma E=35.81 \cdot 10^{12}$ Дж), значительно возросшими по сравнению с параметрами предыдущего года. Сейсмическая активность наблюдалась как по всему пространству, так и в нескольких зонах группирования землетрясений: вблизи Арчмана, вблизи сейсмических станций «Грм», «Ван» и «Ккс», в районе г. Боджнурда, Иран (рис. 1). В течение года в районе № 3 зафиксированы землетрясения с $K_p=2-13.4$, около 50 % землетрясений составляют слабые местные землетрясения, зарегистрированные сейсмостанциями «Грм» и «Ккс» на эпицентральных расстояниях не более 25 км. Высокая чувствительность аппаратуры расположенных на коренных породах сейсмических станций позволила более детально изучить слабую сейсмичность в окрестностях этих пунктов.

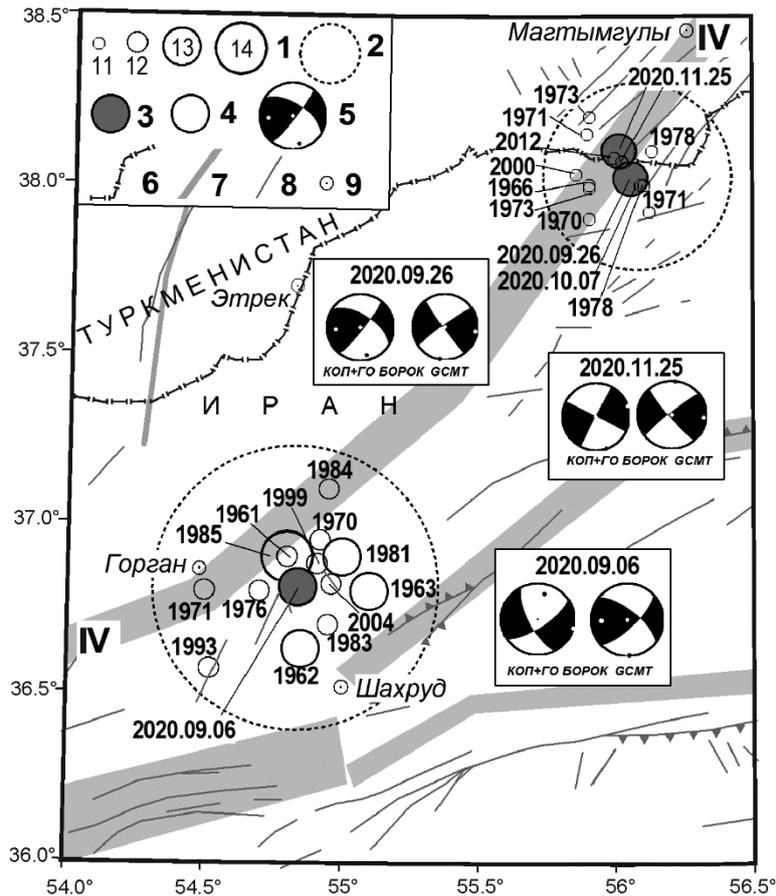


Рис. 4. Землетрясения за период 1961–2020 гг. с $K_p \geq 11.6$ в радиусе 50 км от эпицентра толчка 6 сентября 2020 г. с $K_p=13.4$ (Эльбурский район) и с $K_p \geq 10.6$ в радиусе 30 км от события 26 сентября 2020 г. с $K_p=13.4$ (Туркмено-Хорасанский район)

1 – энергетический класс; 2 – эпицентр землетрясения 2020 г.; 3 – эпицентры за другие годы; 4 – окружность выборки; 5 – диаграмма механизма очага; 6 – государственная граница; 7 – сейсмолинементы (IV – IV – Эльбурс-Копетдагский); 8 – активный разлом по [13, 14]; 9 – город.

Одной из самых активных зон в районе № 3 являлся район Сулюкли (вблизи станции «Грм»), расположенный на стыке двух глубинных разломов – Копетдаг-Большебалханского и Гермабского (сейсмолинементы I–I и III–III на рис. 1, соответственно). Начиная с января и в течение всего года в этом районе регистрировались землетрясения с энергетическими классами $K_p=3.0-9.6$. Большое количество зарегистрированных здесь землетрясений лишь отчасти обусловлено наличием наиболее плотной системы сейсмических наблюдений, состоящей из пяти ближайших станций («Сун», «Ккс», «Грм», «Мрв» и «Ков»).

На протяжении 2020 г. также проявляла повышенную активность Кёнекесирская зона (на уровне землетрясений с $K_p=4-10$), охватывающая район расположения сейсмических станций «Ккс», «Снч» и «Ков». В большинстве случаев землетрясения регистрировала самая близкая к очагам сейсмостанция «Ккс».

Высокой активностью проявляла себя зона Арчман-Нохурского тектонического узла, где 12 октября 2015 г. произошло Кёнекесирское землетрясение с $M_w=5.2$ [15]. Здесь в течение 2020 г. регистрировались землетрясения с малыми энергетическими классами, но в большом количестве, а 28 марта произошло событие с $K_p=10.8$, которое ощущалось в поселке Арчман с интенсивностью 2–3 балла.

Самое крупное землетрясение в районе № 3 произошло 26 сентября 2020 г. в 05^h46^m с $K_p=13.4$ южнее г. Магтымгулы (рис. 1, 4). Землетрясение ощущалось в указанном городе ($\Delta=49$ км) с интенсивностью до 3 баллов, в п. Чендыр ($\Delta=24$ км) – 4 балла по шкале MSK-64 [9]. В иранских городах Ширван (179 км) и Гомбеде-Кабус (115 км), согласно данным USGS [11], – III и II балла по шкале Меркалли [10] соответственно. Решения механизма очага КОП+ГО БО-РОК и GСMT (рис 4) однозначно указывают на сдвиг по крутым плоскостям северо-восточного ($NP1$) или северо-западного ($NP2$) простирания. Левый сдвиг по плоскости $NP1$, совпадающей по простиранию с ориентацией Эльбурс-Копетдагского сейсмолинеамента, явно предпочтительнее, т.к. соответствует тектонической обстановке региона.

Землетрясение 26 сентября сопровождалось многочисленными афтершоками (22 события $K_p \geq 8.6$ до конца года), среди которых самый крупный реализовался 25 ноября в 20^h11^m с $K_p=13.0$. Энергетическая ступень между этим и основным толчком небольшая, $\Delta K=0.4$, а сам толчок 25 ноября сдвинут относительно основного события на 10 км на север–северо-запад, поэтому его можно считать «дублем» главного события с собственными афтершоками. Механизм очага близок к механизму главного толчка (рис. 4).

30 декабря в 17^h47^m в 48 км к северо-западу от эпицентра главного толчка 26 сентября, в месте пересечения Эльбурс-Копетдагского (IV–IV на рис. 1) и Прибалхано-Апшеронского (II–II) сейсмолинеаментов произошло событие с $K_p=10.9$. В каталоге [Прил. 3] оно отмечено как самостоятельное событие, хотя из-за небольшого расстояния между ними и принадлежности обоих событий к Эльбурс-Копетдагскому сейсмолинеamentу его можно считать удаленным афтершоком, обозначившим северо-восточное развитие процесса в очаге. Примечательно, что механизм очага землетрясения 30 декабря (№ 45 в [Прил. 4] и на рис. 2) отличался от сдвиговых подвижек при основном толчке 26 сентября и его афтершока (№ 30 и 31, 38 и 39, 46 в [Прил. 4] и на рис. 2), представляя собой сброс по плоскости субширотного простирания, близкого к ориентации Прибалхано-Апшеронского сейсмолинеамента. Эта плоскость могла послужить упором для дальнейшего развития сейсмического процесса в северо-восточном направлении. Землетрясение 30 декабря ощущалось в г. Магтымгулы (12 км) силой 3 балла.

В зоне очага Боджнурдского землетрясения 1997 г. с $MS=6.6$, $I_0=8$ баллов [16] зарегистрированы сейсмические события в диапазоне энергетических классов $5 \leq K_p \leq 11.0$.

В очаговой зоне Сефид-Сангского землетрясения 5 апреля 2017 г. с $K_p=14.3$ ($M_{WGСMT}=6.0$), одного из крупнейших в XXI веке в районе № 3 [17, 18], зарегистрированы лишь три события с $K_p=9$ и одно – с $K_p=10$.

В **Восточном Туркменистане (№ 4)** сейсмичность обычно сосредоточена на территории сопредельных государств, но в 2020 г. максимальным оказалось землетрясение 6 декабря 2020 г. в 00^h27^m с $K_p=11.7$, эпицентр которого находился на территории Туркменистана, в 5 км от пос. Койтен (прежнее название Кугитанг), где интенсивность сотрясений составила 3 балла. За одни сутки из этого очага зарегистрировано 203 слабых афтершока. В очаге произошел сброс с компонентами сдвига по крутой меридиональной или пологой широтной плоскости (№ 42 на рис. 2).

Ряд эпицентров землетрясений с $K_p \geq 8.6$ зарегистрирован на территории Узбекистана западнее Газли, а также на территории Афганистана.

Выделенная на территории региона сейсмическая энергия ($\Sigma E=0.71 \cdot 10^{12}$ Дж) уменьшилась в 2.8 раза относительно аналогичного параметра предыдущего года.

Закключение. В Копетдагском регионе в 2020 г. три самые крупные сейсмические события, 6 сентября, 26 сентября и 25 ноября с $K_p=13$, произошли в двух районах: Эльбурском (район № 2) и Туркмено-Хорасанском (№ 3), а точнее – в зоне Эльбурс-Копетдагского сейсмолинеамента северо-восточного простирания. Указанные землетрясения возникали последовательно во времени (с сентября по ноябрь) и в пространстве, со сдвигом на северо-восток вдоль указанного сейсмолинеамента. Механизмы очагов всех трех событий являются сдвигами, одна из нодальных плоскостей которых ориентирована на северо-восток, вдоль сейсмолинеамента. Левосдвиговые

подвижки по этим нодалным плоскостям согласуются с тектоническим строением региона и механизмами очагов прошлых землетрясений. Учитывая вышеизложенное, а также факт надвига в очаге небольшого землетрясения 2 мая 2020 г. с $K_p=9.8$ на границе Копетдага и Южно-Каспийской впадины, можно считать, что главной особенностью развития сейсмического процесса на территории Копетдагского региона в 2020 г. является усиление давления северного клина Иранской плиты на структуры Южно-Каспийской впадины и Предкопетдагского прогиба в результате сжатия Иранской плиты, вызванного сближением Аравии и Евразии.

С этим связаны и повышенные параметры сейсмического режима в районах № 2 и № 3, возросшие по сравнению с параметрами прошлого года. В целом по Копетдагскому региону в 2020 г. суммарное число представительных землетрясений с $K_p \geq 8.6$ ($N_\Sigma=219$), сейсмическая активность ($A_{10}=0.041$), выделенная сейсмическая энергия $\Sigma E=6.7 \cdot 10^{13}$ Дж) повысились по сравнению с параметрами предыдущего года, приблизившись к долговременным средним значениям, определенным для периода 1992–2014 гг. ($N_\Sigma=216$, $A_{10}=0.044$, $\Sigma E=2.5 \cdot 10^{13}$ Дж).

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, С.В. Карякин, Н.А. Лукаш, Н.В. Петрова, В.А. Петров, С.Г. Пойгина, С. Союнмурадова, М. Союнова, Б. Тачов, А.Т. Халаева, Т. Халлыева, О.С. Хрулёва, Б. Чарыева, А. Эсенова.

Электронное приложение App04_Kopetdag_2020 (<http://www.gsras.ru/zse/app-27.html>): 1 – Сейсмические станции Копетдага и их параметры в 2020 г.; 2 – Сведения о пунктах расположения сейсмических станций Туркменистана в 2020 г. и их переименованиях; 3 – Каталог землетрясений с $K_p \geq 8.6$ Копетдага за 2020 г.; 4 – Каталог механизмов очагов землетрясений Копетдага за 2020 г.; 5 – Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений в населенных пунктах Копетдага в 2020 г.; 6 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Туркменистана за 2020 год.

Л и т е р а т у р а

1. Jackson J., Priestley K., Allen M., Berberian M. Active tectonics of the south Caspian basin // *Geophysical Journal International*. – 2002. – Т. 148. – № 2. – С. 214–245.
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. Сейсмичность Копетдагского региона в 2015 г. // *Землетрясения Северной Евразии*. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – С. 84–93. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2021.24.07>
4. 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: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2019.22.08>
5. International Seismological Centre. (2024). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
6. 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: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2020.23.07>
7. Сарыева Г.Ч., Петрова Н.В., Безменова Л.В. Сейсмичность Копетдагского региона в 2018–2019 гг. // *Землетрясения Северной Евразии*. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – С. 92–101. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.07> EDN: XYPFVCV
8. 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.
9. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Международная шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
10. The Modified Mercalli Intensity Scale. *Earthquake Topics* // USGS [Web Site]. – URL: <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/modified-mercalli-intensity-scale>
11. Search Earthquake Catalog // USGS [Site]. – URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
12. Аннаорова Т.А., Голинский Г.Л., Рахимов А.Р., Смирнова Н.П. Землетрясения Копетдага // *Землетрясения в СССР в 1985 году*. – М.: Наука, 1988. – С. 76–86.

13. Berberian M. Historical seismicity (pre 1900) map of Iran. Scale 1:5 000 000. Contribution to the Seismotectonics of Iran, Part III // Geological Survey of Iran, Tectonic-Seismotectonic Research Section. – 1977.
14. Oveisi B., Sabour N., Sadeghi M., Heibati Z. Seismotectonic map of Iran. Scale 1:2 500 000. / Ministry of Industry, Mine & Trade. Geological Survey of Iran, Seismotectonics Department. – 2019.
15. Petrova N.V., Abaseev S.S., Bezmenova L.V. Kenekesir Earthquake of October 12, 2015 ($M_w=5.2$) in the Western Kopet Dag: Aftershock Series and Strong Ground Motions // Seismic Instruments. – 2022. – Т. 58, № 1. – С. 63–85.
16. 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.
17. Петрова Н.В., 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: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2022.25.29> EDN: JPXWLN
18. Petrova N.V., Bezmenova L.V., Kurova A.D. Earthquake of April 5, 2017, $M_w=6.0$, in Northeast Iran: Focal Parameters, Aftershock Series, and Macroseismic Manifestations // Seismic Instruments. – 2022. – V. 58, N 1. – P. S1–S13. DOI: <https://doi.org/10.3103/s0747923922070088>

SEISMICITY of the KOPETDAG REGION in 2020

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

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

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

Abstract. Seismic monitoring of the Kopetdag region in 2020 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. 219 earthquakes with energy class $K_R \geq 8.6$ were included in published catalog, of which 16 events were tangible, including one outside the Kopetdag region. For 37 earthquakes, focal mechanisms were determined. Three largest seismic events in the region with $K_R=13$, occurred on September 6, September 26 and November 25 in the Elbur and Turkmen-Khorasan regions, in the zone of the Elbur-Kopet Dag seismic lineament of northeastern strike, represented a single seismotectonic process development with the movement of epicenters to the northeast, along the specified seismic lineament. The focal mechanisms of all three events are left-lateral strike-slip faults with northeast-oriented nodal planes. Another earthquake with $K_R=13$ was registered on January 2, 2020 outside the region, 213 km southwest of Serhetabad (Turkmenistan), where it was felt with an intensity $I=2$ by MSK-64 scale. The maximum perceptibility on the territory of Turkmenistan were earthquakes on September 26 and November 25 with $K_R=13$, which manifested themselves in the nearest settlements with an intensity of $I=4$. In general, in the Kopetdag region in 2020, the total number of representative earthquakes with $K_R \geq 8.6$ ($N=219$), seismic activity ($A_{10}=0.041$) and released seismic energy $\Sigma E=6.7 \cdot 10^{13}$ J) increased compared to the parameters of the previous year, approaching long-term average values.

Key words: seismic activity, seismic energy, earthquake aftershocks, focal mechanism, intensity of shocks.

For citation: Saryeva, G.Ch., Petrova, N.V., & Bezmenova, L.V. (2024). [Seismicity of the Kopetdag region in 2020]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 27(2020), 81–90. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.07> EDN: ESTODM

References

1. Jackson, J., Priestley, K., Allen, M., & Berberian, M. (2002). Active tectonics of the South Caspian basin. *Geophysical Journal International*, 148(2), 214–245.
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. (2021). [Seismicity of the Kopetdag region in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015), 84–93. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2021.24.07>
4. 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: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2019.22.08>

5. International Seismological Centre. (2024). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
6. 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: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2020.23.07>
7. Saryeva, G.Ch., Petrova, N.V., & Bezmenova, L.V. (2023). [Seismicity of the Kopetdag region in 2018–2019]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019), 92–101. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.07> EDN: XYPFCV
8. Gaipov, B.N., Petrova, N.V., Golinskiy, 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 in Northern Eurasia, 2000] (pp. 306–320). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
9. Medvedev, S.V., Shponhoyer, V., & Karnik, V. (1965). *Mezhdunarodnaya shkala seysmicheskoy intensivnosti MSK-64* [MSK-64 International seismic intensity scale]. Moscow, Russia: MGK Academy of Sciences USSR Publ., 11 p. (In Russ.).
10. The Modified Mercalli Intensity Scale. Earthquake Topics. (2024). Retrieved from <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/modified-mercalli-intensity-scale>
11. USGS. (2024). Search Earthquake Catalog. Retrieved from <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
12. Annaorazova, T.A., Golinsky, G.L., Rakhimov, A.R., & Smirnova, N.P. (1988). [Kopetdag earthquakes]. In *Zemletriaseniia v SSSR v 1985 godu* [Earthquakes in the USSR in 1985] (pp. 76–86). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
13. Berberian, M. (1977). Historical seismicity (pre 1900) map of Iran. Scale 1:5 000 000. Contribution to the Seismotectonics of Iran, Part III. *Geological Survey of Iran, Tectonic-Seismotectonic Research Section*.
14. Oveisi, B., Sabour, N., Sadeghi, M., & Heibati, Z. (2019). [Seismotectonic map of Iran. Scale 1:2 500 000]. *Ministry of Industry, Mine & Trade. Geological Survey of Iran, Seismotectonics Department*.
15. Petrova, N.V., Abaseev, S.S., & Bezmenova, L.V. (2022). Kenekesir Earthquake of October 12, 2015 ($M_w=5.2$) in the Western Kopet Dag: Aftershock Series and Strong Ground Motions. *Seismic Instruments*, 58(1), 63–85.
16. 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 $MS=6.6$, $I_0=8$ (Kopetdag)]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 1997 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 1997] (pp. 199–218). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
17. 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: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2022.25.29> EDN: JPXWLN (In Russ.).
18. Petrova, N.V., Bezmenova, L.V., & Kurova, A.D. (2022). Earthquake of April 5, 2017, $M_w=6.0$, in Northeast Iran: Focal Parameters, Aftershock Series, and Macroseismic Manifestations. *Seismic Instruments*, 58(1), S1–S13. DOI: <https://doi.org/10.3103/s0747923922070088>