

УДК 550.348. (575.4)

СЕЙСМИЧНОСТЬ КОПЕТДАГСКОГО РЕГИОНА в 2018–2019 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 2018–2019 гг. мониторинг сейсмичности Копетдагского региона осуществлялся сетью из 34 сейсмических станций Института сейсмологии и физики атмосферы Академии наук Туркменистана, из них 20 стационарных и 14 передвижных. За два года зарегистрировано 348 землетрясений с $K_r \geq 8.6$, для 62 событий определены механизмы очагов. В населенных пунктах Туркменистана ощущались более 20 землетрясений, но лишь часть из них локализована непосредственно в его границах. С максимальной интенсивностью на территории Туркменистана ощущалось землетрясение 7 января 2018 г. с $K_r = 12.1$ ($mb = 4.8$), расположенное в Балхано-Каспийском районе, которое вызвало сотрясения в г. Туркменбаши интенсивностью 3–4 балла, а в г. Балканабате 2–3 балла. Среди землетрясений за пределами Туркменистана наибольшей магнитудой и макросейсмическими проявлениями на территории Туркменистана выделяются землетрясения, произошедшие в Афганистане 9 мая 2018 г. ($M_w = 6.3$) и 20 декабря 2019 г. ($M_w = 6.2$). Интенсивность сотрясений от первого события в ближайших населенных пунктах Таджикистана и Афганистана составила 5 баллов, а в туркменском городе Магданлы (483 км) – 2–3 балла. Второе событие ощущалось в Душанбе до 4 баллов, а в Магданлы (418 км) – до 2 баллов. Среди сейсмоактивных районов Копетдагского региона наибольшее количество сейсмической энергии в 2018 г. выделилось на территории Туркмено-Хорасанского района, в 2019 г. – в Восточном Туркменистане. По Копетдагскому региону в целом сейсмическая активность и соответствующие параметры сейсмического режима в 2018–2019 гг. существенно понизились по сравнению с их долговременными средними значениями.

Ключевые слова: сейсмическая активность, сейсмическая энергия, афтершок, механизм очага, интенсивность.

Для цитирования: 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

Введение. Копетдагский регион, расположенный в границах: $\varphi = 35\text{--}42^\circ\text{N}$, $\lambda = 51\text{--}67^\circ\text{E}$, включает почти всю территорию Туркменистана, значительную часть северного Ирана, а также приграничные районы Афганистана, Узбекистана и Казахстана. Сейсмичность региона сосредоточена в основном на юге, где связана с тектоническими структурами Эльбурса, Копетдага, Аладага, Биналуда, Паропамиза, а также на северо-западе – в акватории Каспийского моря, в районах Красноводского плато, Большого и Малого Балхана, Прибалханского прогиба. Целью данной работы является анализ и описание результатов сейсмического мониторинга территории Копетдагского региона, который в 2018–2019 гг. выполнялся сотрудниками Института сейсмологии и физики атмосферы Академии наук Туркменистана (ИСиФА АНТ) по данным сети сейсмических станций ИСиФА АНТ.

Сеть сейсмических станций в 2018–2019 гг. почти не изменилась по сравнению с ее конфигурацией в предыдущие два года и включала 34 станции – 20 стационарных и 14 передвижных [Прил. 1, 2]. Среди стационарных станций 17 оснащены цифровой аппаратурой типа GEOSIG, одна («Геокач») – цифровой аппаратурой IRIS, и лишь на трех станциях («Овадан-Тепе», «Кенекесир» и «Маньш») сохранилась аналоговая аппаратура, причем на станции «Кенекесир» установлена также аппаратура GEOSIG, а на станции «Маньш» – Дельта Геон. Все 14 передвижных сейсмических станций являются цифровыми типа Дельта Геон. В 2018 г. вместо передвижной станции «Комитет», расположенной на западе Туркменистана, была установлена станция «Ватанчи», координаты которой изменились незначительно и не повлияли на уровень представительной регистрации сети. Отметим, что совместное использование данных региональных стационарных станций и локальной сети передвижных станций позволяет более детально исследовать сейсмичность в отдельных сейсмоактивных зонах Копетдагского региона.

Согласно картам представительности $K_{3\min}$, построенным по методике [1], уровень представительной регистрации землетрясений и конфигурация изолиний представительности в 2018–2019 гг. мало изменились по сравнению с картами за три предыдущих года [2, 3]. Таким образом, теоретически конфигурация сети и оснащение сейсмических станций Туркменистана в анализируемый период времени позволяли без пропусков регистрировать землетрясения в сейсмоактивных районах Копетдага и регионе в целом с энергетической представительностью $K_{3\min}$, приведенной в табл. 1. На практике, однако, некоторые землетрясения по разным причинам могли быть

пропущены, за счет чего значения $K_{\gamma \min}$ в табл. 1, определенные по точке «загиба» графиков повторяемости землетрясений, несколько отличаются от $K_{3\min}$.

Таблица 1. Координаты, площади сейсмоактивных районов и региона в целом, значения энергетической представительности регистрации землетрясений $K_{3\min}$ и землетрясений в каталоге $K_{\gamma \min}$ по районам в 2018–2019 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	7
4	Восточный Туркменистан	35.0–42.0	61.0–67.0	407	8.5	–
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 обработки данных. При обработке записей землетрясений Копетдага, определении кинематических параметров, макросейсмических характеристик ощутимых землетрясений и механизмов очагов использовались методические приемы, подробно описанные в [4]. Полнота регистрации и правильность определения параметров землетрясений контролировались их сопоставлением с данными международных центров обработки [5, 6]. Пропущенные землетрясения с $K_r \geq 8.6$ или события меньшей энергии, для которых определены механизмы очагов, включены в дополнительный список [Прил. 4], в котором расчетные энергетические классы $K_{\text{расч}}$ определены из магнитуд mb_{ISC} [5] или $ML_{\text{ТЕН}}$ [6] с помощью соотношений из [7, 8].

Каталоги землетрясений и механизмов очагов. В основном каталоге [Прил. 3] приведены параметры землетрясений с $K_r \geq 8.6$ ($N_{\Sigma} = 348$), зарегистрированных сейсмическими станциями Туркменистана в границах региона. На карте эпицентров землетрясений Копетдага (рис. 1) представлены землетрясения как из основного, так и из дополнительного (десять событий) каталогов. В дополнительный каталог [Прил. 4] вошли пять землетрясений с $K_r < 8.6$, для которых определены механизмы очагов, три события с $K_r = 11-12$ в Эльбурском и Восточном районах Туркменистана, которые, в силу удаленности от границ Туркменистана не были обработаны в ИСиФА АНТ и включены в [Прил. 4] с параметрами по данным ISC, а также два ощущавшихся на территории Туркменистана события, произошедших за пределами региона, в Афганистане.

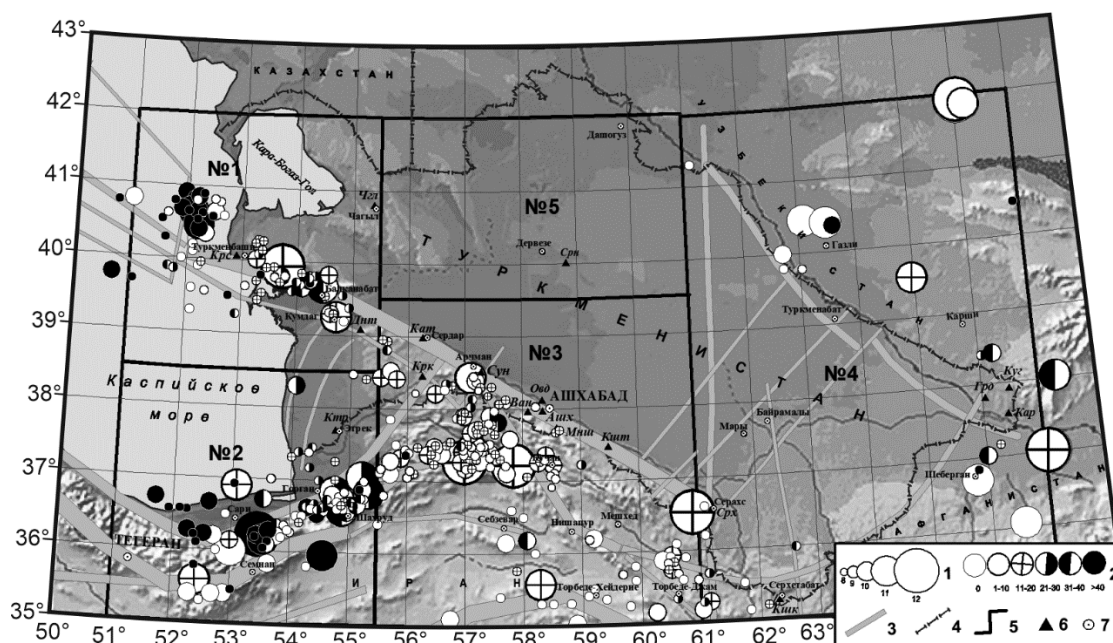


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Копетдага за 2018–2019 гг.

1 – энергетический класс K_r землетрясений из основного дополнительного каталогов [Прил. 3, 4]; 2 – глубина гипоцентра h , км (0 – глубина не определена); 3 – сейсмолинементы: I–I – Копетдаг-Большебалханский, II–II – Прибалхано-Ашшеронский (Хазар-Кюрендагский); III–III – Окаремский; IV–IV – Шахманский; V–V – Гермабский; VI–VI – Хазарский; VII–VII – Эльбурс-Копетдагский; VIII–VIII – Северо-Эльбурский; IX–IX – Теджен-Дубеонский; X–X – Амударынский; XI–XI – Серахс-Карабекаульский; XII–XII – Бадхыз-Гаурдакский; XIII–XIII – Эльбурс-Арчманский; XIV–XIV – Мургапский; 4 – граница Туркменистана; 5 – граница сейсмоактивного района; 6 – стационарная сейсмическая станция; 7 – город.

Механизмы очагов 62 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 из [6] и других международных сетей из [5]. Определению такого большого количества механизмов очагов землетрясений, в том числе для слабых событий с $K_p < 8.6$, способствовало переоснащение сети станций Туркменистана высокочувствительной цифровой аппаратурой. Карта диаграмм механизмов очагов землетрясений Копетдагского региона за 2018–2019 гг. представлена на рис. 2.

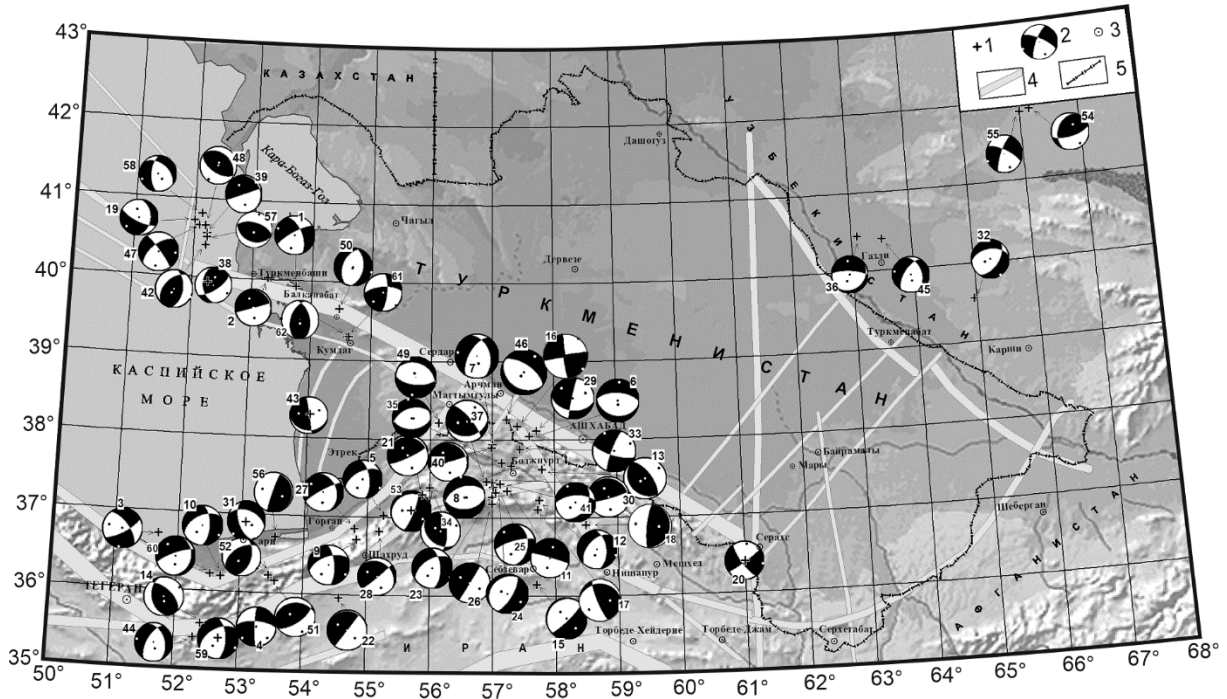


Рис. 2. Диаграммы механизмов очагов землетрясений Копетдага в 2018–2019 гг. в проекции нижней полусферы по данным КОП+ГО БОРОК

1 – эпицентр землетрясения, для которого определен механизм очага; 2 – диаграмма механизма очага, зачернены области сжатия, номер внутри или рядом соответствует номеру механизма очага в [Прил. 5]; 3 – город; 4 – сейсмолинеament; 5 – государственная граница.

Анализ данных. Параметры сейсмического режима в 2018 и 2019 гг. на территории Копетдагского региона и его сейсмоактивных районов представлены в табл. 2 и 3 соответственно. При расчетах учитывались землетрясения как из основного [Прил. 3], так и из дополнительного [Прил. 4] каталогов, произошедшие в границах районов, координаты и площади которых указаны в табл. 1.

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 2018 г.

№	Район	K_p						N_{Σ} ($K_p \geq 8.6$)	$\Sigma E, \cdot$ 10^{12} Дж	γ	A_{10}	ΔK^1
		7	8	9	10	11	12					
1	Балхано-Каспийский	109	78	30	8	–	1	39	1.3860	0.48	0.0596	8–12
2	Эльбурский	23	58	27	11	8	–	46	1.1141	0.30	0.0877	8–11
3	Туркмено-Хорасанский	733	276	66	27	–	3	96	3.0520	0.48	0.1088	7–12
4	Восточный Туркменистан	5	2	5	3	2	–	10	0.5572	–	–	–
5	Центрально-Каракумский	1	1	–	–	–	–	–	0.0001	–	–	–
	КОПЕТДАГ	871	415	128	49	10	4	191	6.1094	0.52	0.0377	9–12

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

Таблица 4. 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 2019 г.

№	Район	K_p						N_{Σ} ($K_p \geq 8.6$)	$\Sigma E, \cdot 10^{12}$ Дж	γ	A_{10}	ΔK^1
		7	8	9	10	11	12					
1	Балхано-Каспийский	103	60	25	8	5	–	38	1.0028	0.37	0.0683	8–11
2	Эльбурский	13	36	28	12	1	1	42	0.6933	0.54	0.0512	9–12
3	Туркмено-Хорасанский	586	204	43	12	3	–	58	0.4138	0.58	0.0486	7–11
4	Восточный Туркменистан	1	5	8	2	4	2	16	1.9933	–	–	–
5	Центрально-Каракумский	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	КОПЕТДАГ	703	305	104	34	13	3	154	4.1032	0.50	0.0318	9–12

На рис. 3 показан временной ход годовых значений $\lg \Sigma(E, \text{Дж})$, A_{10} , γ и $N_{K_p \geq 8.6}$ за период 1992–2019 гг. на территории **Копетдагского региона** в сравнении с их среднегодовыми значениями за этот период, рассчитанными с исключением данных за 1997 г. и 2000 г., чтобы нивелировать всплески этих параметров из-за реализации и афтершоковой деятельности крупнейших за указанный период землетрясений: Боджнурдского 1997 г. [9] и Балханского 2000 г. [10] с $M_s=6.6$ и 7.3 соответственно.

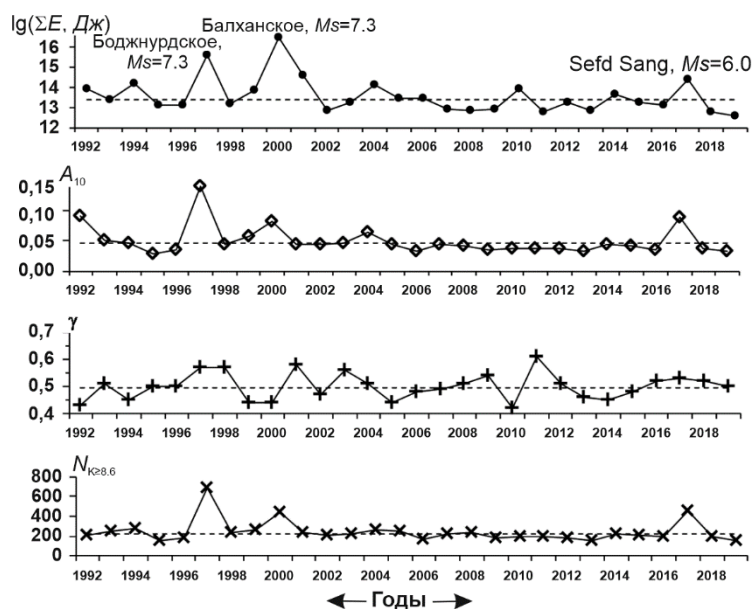


Рис. 3. Годовые значения параметров сейсмического режима $\lg E$, A_{10} и γ в Копетдагском регионе за период с 1992 по 2019 гг.

Пунктирной линией показаны средние за весь период значения параметров.

В целом по **Копетдагскому региону** долговременные среднегодовые значения параметров сейсмического режима за период 1992–2019 гг. составляют: число землетрясений с $K_p \geq 8.6$, представительных по региону, $N_{K_p \geq 8.6} = 219$, сейсмическая активность $A_{10} = 0.045$, выделенная сейсмическая энергия $\Sigma E = 5.6 \cdot 10^{13}$ Дж. В 2018 г. аналогичные параметры были ниже среднегодовых ($N_{K_p \geq 8.6} = 191$, $A_{10} = 0.037$, $\Sigma E = 6.1 \cdot 10^{12}$ Дж), как и в 2019 г. ($N_{K_p \geq 8.6} = 154$, $A_{10} = 0.032$, $\Sigma E = 4.1 \cdot 10^{12}$ Дж). При этом наклон графика повторяемости ($\gamma = 0.52$ в 2018 г. и $\gamma = 0.50$ в 2019 г.) оставался близким к долговременному среднему $\gamma = 0.5$. Снижение сейсмической активности и выделенной энергии в регионе в 2018–2019 гг. отмечено после активизации сейсмичности в 2017 г., связанной не только с третьим по энергии за последние 26 лет Сефид-Сангским землетрясением 05.04.2017 г. с $M_s = 6.0$ [11, 12], произошедшим на юго-востоке Туркмено-Хорасанского района (№ 3), но и с крупным сейсмическим событием 13.05.2017 г. с $M_s = 5.5$ в Центральном Копетдаге, в центральной части района № 3. Как видно из рис. 1, эти участки района № 3 оставались активными и в 2018–2019 гг.: из трех самых крупных сейсмических событий с $K_p = 12$ за этот период два произошли в центре и одно – на юго-востоке района № 3. Однако по энергии они значительно уступали максимальным событиям 2017 года.

В **Балхано-Каспийском районе (№ 1)** большинство эпицентров землетрясений за анализируемый период было приурочено к участкам Копетдаг-Большебалханского сейсмолинеамента запад–северо-западного простирания между городами Балканабат и Туркменбаши и к области его пересечения с меридиональным Каспийским разломом, а также к месту пересечения Прибалхано-Апшеронского разлома с Окаремским в районе г. Кумдага (рис. 1).

В 2018 г. максимальным сейсмическим событием этого района было землетрясение 7 января в $01^{\text{h}}10^{\text{m}}$ с $K_p=12.1$, $M_s=3.9$, локализованное между г. Туркменбаши и г. Балканабатом. Землетрясение ощущалось в г. Туркменбаши с интенсивностью 3–4 балла, в г. Балканабате – 2–3 балла. Повышенная сейсмическая активность в зоне этого очага была замечена еще в 2017 г., здесь было зарегистрировано 26 землетрясений с $K_p=4–7$, предвещающих главный толчок 2018 года. Слабая афтершоковая деятельность продолжалась в течение всего 2018 г., но самые сильные афтершоки произошли 7 и 8 января с $K_p=8.8$ и $K_p=10.4$ соответственно. Механизм очага главного толчка (№ 1 на рис. 2) представлял собой сдвиг с небольшими компонентами сброса по плоскости северо-западного (предпочтительная плоскость) или юго-западного простирания.

В 2019 г. в районе очага Кумдагского землетрясения 14 марта 1983 г. с $K_p=13.8$ [13] произошли два ощутимых события: 30 июня в $01^{\text{h}}18^{\text{m}}$ с $K_p=11.1$ и 3 декабря в $17^{\text{h}}47^{\text{m}}$ с $K_p=11.2$. Оба события ощущались в Балканабате с интенсивностью 2–3 балла, а при первом из них сведения об ощущаемости поступили также из г. Берекета – 2 балла. Для обоих событий определены механизмы очага, которые в целом отличаются от таковых в Кумдагской очаговой зоне, представляющих собой сдвиги или сбросо-сдвиги [13]. При землетрясении 30 июня 2019 г. (№ 61 на рис. 2) в очаге зафиксирован сдвиг с элементами взброса по субширотной или меридиональной плоскости, а 3 декабря (№ 62) – взброс с элементами сдвига по близмеридиональным нодальным плоскостям. Присутствие меридиональной плоскости и взбросовых компонент при подвижках в обоих очагах могут свидетельствовать о возникновении зацепа, препятствующего сдвиговым смещениям по Прибалхано-Апшеронскому разлому, к пересечению которого с Окаремским разломом северо-восточного простирания приурочены упомянутые очаги, как и Кумдагское землетрясение 14 марта 1983 г. с его фор- и афтершоками [13].

По Балхано-Каспийскому району, по сравнению с параметрами 2017 г. (количество землетрясений с $K_p \geq 8.6$ $N_{K_p \geq 8.6} = 66$, выделившаяся энергия $\Sigma E = 3.59 \cdot 10^{12}$ Дж, сейсмическая активность $A_{10} = 0.097$), аналогичные параметры в 2018 г. ($N_{K_p \geq 8.6} = 39$, $\Sigma E = 1.39 \cdot 10^{12}$ Дж, $A_{10} = 0.060$) и в 2019 г. ($N_{K_p \geq 8.6} = 38$, $\Sigma E = 1.00 \cdot 10^{12}$ Дж, $A_{10} = 0.069$) существенно понизились, что внесло вклад в понижение сейсмической активности по региону в целом (рис. 3).

В **Эльбурском районе (№ 2)** эпицентральное поле, как и ранее, было сосредоточено в основном между двумя параллельными сейсмолинеаментами северо-восточного простирания, являющимися зонами крупнейших разломов в этой части Эльбурса – Хазарского и Северо-Эльбурского (рис. 1).

В 2018 г. самое сильное землетрясение произошло 16 августа в $06^{\text{h}}41^{\text{m}}$ с $K_p=11.3$ северо-восточнее г. Шахруда (Иран). В непосредственной близости, севернее и западнее этого очага, локализованы еще три эпицентра землетрясений с $K_p=11.0–11.2$, произошедших 17 февраля, 18 марта и 10 августа того же года. По сведениям USGS [14], землетрясение 18 марта ощущалось в иранских населенных пунктах Алибад и Минудешт интенсивностью 3 балла по шкале Меркалли (ММ) [15], а землетрясение 10 августа – в городах Имамшехр (3 балла), Алибад и Эрдекан (2 балла) на территории Ирана. Среди ощутимых землетрясений района № 2 в 2018 г. выделяется также землетрясение 22 сентября в $22^{\text{h}}34^{\text{m}}$ с $K_p=10.8$, локализованное в акватории Каспия в 50 км к северу от иранского г. Сари. Согласно [14], оно ощущалось в восьми населенных пунктах Ирана (Нека, Сари, Ашраф, Каэмшехр, Баболь, Амоль, Нур, Харсин) интенсивностью 4 балла, в Кередже – 3 балла, в Тегеране, Робаткариме и Эрдекане – 2 балла по шкале ММ [15].

Для всех вышеупомянутых землетрясений определены механизмы очагов. Для событий 17 февраля, 18 марта и 10 августа (№ 5, № 9 и № 27 на рис. 2 соответственно) они практически идентичны и представляют собой сбросо-сдвиги, с одной из нодальных плоскостей ($NP1$ в [Прил. 5]) запад–юго-западного простирания, совпадающего с ориентацией сейсмолинеамента и разломов в месте очагов. Именно эту плоскость мы считаем действующей при разрывообразовании в очагах землетрясений № 5, № 9 и № 27. Механизм очага землетрясения 16 августа (№ 28) из этой же зоны содержит, помимо сдвиговых, значительные компоненты взброса, однако

ориентация нодальных плоскостей, особенно близвертикальной плоскости $NP1$ северо-восточного простирания, близка к таковой в очагах трех вышеописанных землетрясений. Учитывая, что для землетрясения № 28 механизм определен всего по 15 знакам первых вступлений P -волн, в отличие от 52, 39 и 25 знаков для землетрясений № 5, № 9 и № 27 соответственно, нельзя исключать возможности, что все четыре механизма очагов этих близко расположенных землетрясений идентичны.

Отметим землетрясение 1 апреля в $18^{\text{h}}26^{\text{m}}$ с $mb_{\text{ISC}}=3.9$ ($K_p=10.6$), локализованное южнее Каспийского моря, к юго-востоку от г. Тегерана (Иран). Из-за удаленности туркменских сейсмических станций, расположенных в узком азимутальном створе, это землетрясение не было обработано и вошло в дополнительный каталог [Прил. 4] с параметрами по данным ISC [5]. Однако оно учтено при расчете параметров сейсмического режима, т.к. находится в границах Копетдагского региона. На сайте USGS [14] имеются сведения о проявлениях этого землетрясения с интенсивностью 2 балла в г. Демавенде (Иран) и 1 балл в г. Тегеране (Иран).

Самое крупное землетрясение в Эльбурском районе за два изучаемых года произошло 4 июля 2019 г. в $06^{\text{h}}27^{\text{m}}$ с $K_p=11.6$, $M_s=4.2$ южнее экватории Каспийского моря, к юго-западу от г. Бехшехра. Оно ощущалось на территории Ирана с интенсивностью 4 балла в Дамгане, 3 балла в Дизфуле, 2 балла в Семнани, а также в Абдулла ал-Салеме (Кувейт) [14]. Непосредственно перед основным толчком, 4 июля в $05^{\text{h}}59^{\text{m}}$ и $06^{\text{h}}24^{\text{m}}$, зарегистрированы два крупных форшока с $K_p=9.8$ и $K_p=10.9$ соответственно. После главного события зафиксированы афтершоки, четыре максимальных по энергии с $K_p=9.1\div 10.4$ произошли с 4 по 20 июля 2019 года. Самый крупный афтершок с $K_p=10.4$ реализовался 4 июля 2019 г. в $06^{\text{h}}40^{\text{m}}$, т.е. через 13 минут после главного толчка. Механизмы очагов самого крупного форшока 4 июля 2019 г. в $06^{\text{h}}24^{\text{m}}$ (№ 51 на рис. 2) и главного толчка (№ 52) подобны и представляют собой взброс или надвиг с небольшими компонентами сдвига по плоскостям запад–юго-западного или северо-восточного простирания, совпадающего с ориентацией Северо-Эльбурского разлома, в зоне которого очаги локализованы. Отметим, что взбросовый тип механизма очага типичен для землетрясений в этой части Эльбурса, а Северо-Эльбурский разлом является надвиговым со взбросом южного крыла [16, 17, 18].

Сведений об ощутимости землетрясений Эльбурского района на территории Туркменистана не поступало.

По сравнению с параметрами 2017 г. по Эльбурскому району (количество представительных землетрясений с $K_p \geq 8.6$ $N_{K_p \geq 8.6}=56$, выделившаяся энергия $\Sigma E=2.85 \cdot 10^{12}$ Дж), аналогичные параметры в 2018 г. ($N_{K_p \geq 8.6}=46$, $\Sigma E=1.11 \cdot 10^{12}$ Дж) и в 2019 г. ($N_{K_p \geq 8.6}=42$, $\Sigma E=0.69 \cdot 10^{12}$ Дж) понизились. Сейсмическую активность мы не сравниваем из-за сильных колебаний наклона графика повторяемости ($\gamma_{2017}=0.56$, $\gamma_{2018}=0.30$, $\gamma_{2019}=0.54$).

В **Туркмено-Хорасанском районе (№ 3)** в 2018 г. зафиксированы три землетрясения с $K_p=12$ при дефиците, вернее, отсутствии землетрясений с $K_p=11$. Два из них произошли в районе Боджнурдского очага 4 февраля 1997 г. с $M_s=6.6$ [9]: первое – 28 марта в $11^{\text{h}}03^{\text{m}}$ с $K_p=12.0$, $M_s=3.7$ в 52 км к юго-востоку от г. Боджнурда (Иран), а второе – 17 июля в $03^{\text{h}}58^{\text{m}}$ с $K_p=12.1$ в 45 км юго-западнее Боджнурда. Землетрясение 28 марта ощущалось в г. Ашхабаде с интенсивностью 2–3 балла. Третье крупное событие этого года произошло 10 мая в $15^{\text{h}}36^{\text{m}}$ с $K_p=11.6$ на юго-востоке района, в 20 км к юго-западу от г. Серахса, где оно ощущалось с интенсивностью 3 балла, а в г. Серхетабаде – 2 балла.

Для всех трех событий определен механизм очага. Для Боджнурдских землетрясений 28 марта (№ 12 на рис. 2) и 17 июля (№ 23) он почти идентичен – сброс с компонентами сдвига, левого по плоскости $NP1$ юго-западного простирания или правого по плоскости $NP2$ меридионального простирания. Учитывая близость механизмов очагов этих событий и приуроченность эпицентра землетрясения 10 мая к сейсмолинеamentу запад–юго-западного простирания (рис. 2), можно предположить, что действующей в очагах обоих событий является нодальная плоскость $NP1$ и что событие № 23 приурочено к тому же сейсмолинеamentу, что и № 12. Механизм очага землетрясения вблизи Серахса (№ 20 на рис. 2) представляет собой сдвиг по плоскости северо-восточного или юго-восточного простирания. Выбрать действующую плоскость в данном случае невозможно, т.к. вблизи очага пересекаются сейсмолинеamentы и активные разломы северо-восточного, юго-восточного и меридионального простирания (рис. 1, 2).

В 2019 г. сейсмическая активность в районе № 3, как и в районах № 1 и № 2, снизилась по сравнению с таковой в 2018 году. За год здесь не произошло ни одного землетрясения с $K_p > 11$,

также понизилось общее число событий с $K_p=6-11$. Из трех землетрясений с $K_p=11$ в 2019 г. два оказались ощутимыми: 14 апреля в 19^h59^m и 29 июля в 09^h27^m, оба с $K_p=10.8$. Первое ощущалось на территории Ирана – в г. Боджнурде с интенсивностью 4 балла, в г. Йезде – 2 балла. Второе, 29 июля, произошло на туркменской территории в районе горы Тагарев, в постоянно активной зоне Арчман-Нохурского тектонического узла. Оно ощущалось на туркменской территории, в г. Арчмане и пос. Нохур с интенсивностью 2–3 балла.

Значения параметров сейсмического режима на территории района № 3 в 2018 г. ($A_{10}=0.109$, $\Sigma E=3.05 \cdot 10^{12}$ Дж, $N_{K_p \geq 8.6}=96$), оставались примерно на уровне 2016 г. ($A_{10}=0.095$, $\Sigma E=4.28 \cdot 10^{12}$ Дж, $N_{K_p \geq 8.6}=96$), однако были гораздо ниже, чем в 2017 г. ($A_{10}=0.26$, $\Sigma E=237.06 \cdot 10^{12}$ Дж, $N_{K_p \geq 8.6}=328$), когда на территории района произошло третье по энергии за 26-летний период в Копетдаге Сефид-Сангское землетрясение 5 апреля 2017 г. с $M_s=M_w=6.0$ [2, 11], а также крупное землетрясение 13 мая 2017 г. с $K_p=13.4$, $M_s=5.5$ в районе г. Боджнурда [11]. В 2019 г. продолжилось понижение параметров сейсмичности в районе № 3: $A_{10}=0.049$, $\Sigma E=0.41 \cdot 10^{12}$ Дж, $N_{K_p \geq 8.6}=58$.

В **Восточном Туркменистане (№ 4)** в 2018 г. не зарегистрировано ни одного землетрясения с $K_p \geq 12$, если не считать землетрясения 10 мая на границе районов № 3 и № 4, которое рассматривалось при обзоре сейсмичности Туркмено-Хорасанского района (№ 3).

Самое сильное в 2018 г. землетрясение произошло в районе г. Газли (Узбекистан) 10 декабря в 04^h06^m с $K_p=11.5$, $M_s=3.8$. В очаге (№ 36 на рис. 2) произошел сброс по крутой субширотной плоскости, или сбросо-сдвиг по пологой плоскости северо-восточного простирания.

Второе по энергии землетрясение в районе № 4 в 2018 г. произошло 29 сентября в 13^h42^m с $K_p=11.3$ между узбекскими городами Газли и Карши (рис. 1), в 83 км от туркмено-узбекской границы. В очаге (№ 32 на рис. 2) произошел сброс по плоскости близширотного или северо-восточного простирания со значительными компонентами сдвига.

9 мая 2018 г. в 10^h41^m на севере Афганистана, вне границ Копетдагского региона, произошло землетрясение с $K_p=13.8$ ($M_{S_{MOS}}=5.7$, $M_{W_{GCMT}}=6.3$), ощущавшееся в таджикских городах Хороге и Ишкашима интенсивностью 4–5 баллов, а на территории Туркменистана, в г. Магданлы, 2–3 балла.

В 2019 г. на территории Восточного Туркменистана зарегистрировано два землетрясения с $K_p=12$. Один из толчков произошел 3 декабря в 06^h06^m с $K_p=11.9$ ($M_s=3.7$) в северном Афганистане, на восточной границе района № 4 (рис. 1). В туркменском г. Магданлы он ощущался с интенсивностью до 2 баллов.

Второе событие с $K_p=11.8$ зарегистрировано 26 июля в 21^h00^m на территории Узбекистана, вблизи северной и западной границ района № 4. За два дня до главного толчка, 24 июля в 15^h12^m, там же произошло землетрясение с $K_p=10.8$, которое является, вероятно, его форшоком. Из-за дальности от границ Туркменистана эти события в ИСиФА АНТ не обрабатывались, а их параметры взяты по данным ISC [5]. Несмотря на близость этих толчков друг к другу в пространстве и во времени, которая свидетельствует о принадлежности их к одному очагу, механизмы очага у них разные: взбросо-сдвиг по плоскости северо-восточного или близмеридионального простирания при первом толчке 24 июля (№ 54 на рис. 2) и сдвиг по близмеридиональной или близширотной плоскости при главном толчке 26 июля (№ 55). Сведений об ощутимости этих землетрясений не поступало.

20 декабря 2019 г. в 11^h39^m на территории Афганистана, вне границ Копетдагского региона, произошло землетрясение с $K_p=13.6$ ($M_{W_{GCMT}}=6.2$), которое ощущалось в таджикском г. Душанбе с интенсивностью 4 балла, а также в туркменском г. Магданлы – 2 балла.

Надо отметить, что выделенная на территории района № 4 сейсмическая энергия ($\Sigma E=0.56 \cdot 10^{12}$ Дж в 2018 г. и $\Sigma E=1.99 \cdot 10^{12}$ Дж в 2019 г.) выросла по сравнению с аналогичным параметром за два предыдущих года ($\Sigma E=0.01 \cdot 10^{12}$ Дж в 2016 г. и $\Sigma E=0.04 \cdot 10^{12}$ Дж в 2017 г.).

В **Центрально-Каракумском районе (№ 5)** в 2018–2019 гг. зарегистрировано всего два сейсмических события с $K_p=7$ и $K_p=8$.

Закключение. Сейсмический процесс на территории Копетдагского региона в 2018–2019 гг. протекал при пониженных параметрах сейсмической активности A_{10} , выделенной сейсмической энергии ΣE и числа землетрясений представительных энергетических классов $N_{K_p \geq 8.6}$ относительно долговременных средних значений этих параметров за период 1992–2019 гг. Снижение параметров сейсмического режима последовало за их повышением в 2017 г., обусловленным возникновением на территории Туркмено-Хорасанского района двух неординарных по энергии сейсмических событий, 05.04.2017 г. с $M_s=6.0$ и 13.05.2017 г. с $M_s=5.5$ [11]. Отмечено

синхронное повышение параметров сейсмичности в 2017 г. и их последующее снижение в 2018 и 2019 гг. сразу в трех сейсмоактивных районах Копетдагского региона – Балхано-Каспийском, Эльбурском и Туркмено-Хорасанском. Можно предположить, что возникновение двух крупных землетрясений в Туркмено-Хорасанском районе в 2017 г. послужило триггером для готовящихся очагов и активизации сейсмичности в соседних районах, после чего в 2018–2019 гг. параметры A_{10} , ΣE и $N_{Kp \geq 8.6}$ закономерно снизились как в указанных районах, так и в регионе в целом.

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, 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, А. Эсенова.

Электронное приложение App04_Kopetdag_2018–2019 (<http://www.gsras.ru/zse/app-26.html>): 1 – Сейсмические станции Копетдага и их параметры в 2018–2019 гг.; 2 – Сведения о пунктах расположения сейсмических станций Туркменистана в 2018–2019 гг. и их переименованиях; 3 – Каталог землетрясений с $Kp \geq 8.6$ Копетдага за 2018–2019 гг.; 4 – Дополнительный список землетрясений, не вошедших в основной каталог землетрясений Копетдага за 2018–2019 гг.; 5 – Каталог механизмов очагов землетрясений Копетдага за 2018–2019 гг.; 6 – Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений в населенных пунктах Копетдага в 2018–2019 гг.; 7 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Туркменистана за 2018–2019 гг.

Л и т е р а т у р а

1. 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.
2. 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>
3. 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: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2022.25.07>. – EDN: QYHBBK
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. (2023). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
6. Iranian Seismological Centre. (2023). Online Databank. – URL: <http://irsc.ut.ac.ir/bulletin.php>
7. Петрова Н.В. Соотношения между оценками величины землетрясений Копетдага по данным различных сейсмологических центров // Землетрясения Северной Евразии, 2004 год. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 409–417.
8. 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.
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., 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
12. 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>
13. Аннаорова Т.А., Изюмов С.Ф., Кузьмин Ю.О., Петрова Н.В. Изучение очаговых зон сильных землетрясений в Западной Туркмении // Изв. АН СССР. Сер. ФТХиГН. – 1989. – № 3. – С. 72–78.

14. Search Earthquake Catalog // USGS [Site]. – URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
15. The Modified Mercalli Intensity Scale. Earthquake Topics // USGS [Web Site]. – URL: <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/modified-mercalli-intensity-scale>
16. Hessami K., Jamali F., Tabassi H. Major active faults of Iran (map), scale 1:2 500 000. Ministry of Science // Research and Technology, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology. – 2003.
17. 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.
18. 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.

SEISMICITY of the KOPETDAG REGION in 2018–2019

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

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

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

Abstract. In 2018–2019, the monitoring of seismicity 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, of which 20 are stationary and 14 are mobile. For two years, 348 earthquakes with $K_R \geq 8.6$ were registered, for 62 events the focal mechanisms were determined. More than 20 earthquakes were felt in the settlements of Turkmenistan, but only a part of them were localized directly within its borders. The earthquake of January 7, 2018 with $K_R=12.1$ ($m_b=4.8$), located in the Balkhan-Caspian area, was felt with maximum intensity on the territory of Turkmenistan and caused shaking in the city of Turkmenbashi with an intensity of $I_i=3-4$, and in the city of Balkanabat $I_i=2-3$. Among seismic events outside Turkmenistan, the earthquakes that occurred in Afghanistan on May 9, 2018 ($M_w=6.3$) and December 20, 2019 ($M_w=6.2$) stand out with the highest magnitude and macroseismic manifestations in the territory of Turkmenistan. The shaking intensity from the first event in the nearest settlements of Tajikistan and Afghanistan was $I_i=5$, and in the Turkmen city of Magdanly (483 km) – $I_i=2-3$. The second event was felt in Dushanbe (Tadjikistan) up to $I_i=4$, and in Magdanly (Turkmenistan, $\Delta=418$ km) – up to $I_i=2$. Among the seismically active areas of the Kopetdag region, the maximum amount of seismic energy in 2018 was released on the territory of the Turkmen-Khorasan area, and in 2019 – in Eastern Turkmenistan. For the Kopetdag region as a whole, seismic activity and corresponding parameters of the seismic regime in 2018 and 2019 decreased significantly compared to their long-term averages.

Keywords: Seismic station, earthquake catalog, seismic activity, seismic energy, focal mechanism, shaking intensity.

For citation: 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

R e f e r e n c e s

1. 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.).
2. 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>.
3. 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: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2022.25.07>. EDN: QYHBBK
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. (2023). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
6. Iranian Seismological Centre. (2023). Online Databank. Retrieved from <http://irsc.ut.ac.ir/largevents.php>
7. Petrova, N.V. (2010). [Correlations between estimates of the magnitude of Kopetdag earthquakes according to data from various seismological centers]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2004 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2004] (pp. 409–417). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).

8. 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.).
9. 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.).
10. 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.).
11. 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
12. 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>
13. 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.).
14. USGS. (2023). Search Earthquake Catalog. Retrieved from <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
15. The Modified Mercalli Intensity Scale. Earthquake Topics. USGS. (2023). Retrieved from <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/modified-mercalli-intensity-scale>
16. Hessami, K., Jamali, F., & Tabassi, H. (2003). Major active faults of Iran (map), scale 1:2 500 000. Ministry of Science. *Research and Technology, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology*.
17. 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*.
18. 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*.