

УДК 550.348. (575.4)

СЕЙСМИЧНОСТЬ КОПЕТДАГСКОГО РЕГИОНА в 2021 году

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

¹Институт сейсмологии и физики атмосферы АН Туркменистана,

г. Ашхабад, Туркменистан, tm.seismology@online.tm

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

Аннотация. Землетрясения Копетдагского региона в 2021 г. регистрировались сетью из 34 сейсмических станций Института сейсмологии и физики атмосферы Академии наук Туркменистана. Всего в публикуемый каталог включено 269 землетрясений с $K_p \geq 8.6$, непосредственно в границах региона – 265; для 17 землетрясений определены механизмы очагов. В населенных пунктах Туркменистана в 2021 г. ощущались 11 землетрясений, четыре из них находились за пределами Туркменистана. Самые крупные сейсмические события региона зарегистрированы 16 мая с $K_p=13.8$, 17 мая с $K_p=13.5$ (афтершок), 13 сентября с $K_p=13.4$ в Туркмено-Хорасанских горах на территории Ирана, а также 5 октября с $K_p=13.2$ на севере Афганистана. Непосредственно на территории Туркменистана самым крупным в 2021 г. было землетрясение 14 марта с $K_p=12.1$, ощущавшееся в п. Кёнекесир ($\Delta=10$ км) с интенсивностью $I_f=4-5$ баллов, максимальной в Туркменистане в 2021 г. Землетрясение сопровождалось беспрецедентным количеством афтершоков – 5760 в радиусе 15 км от эпицентра до конца года, из них 767 с $K_p \geq 5.6$. В целом по Копетдагскому региону в 2021 г. суммарное число представительных землетрясений с $K_p \geq 8.6$ ($N_s=265$), сейсмическая активность ($A_{10}=0.046$) и выделенная сейсмическая энергия ($\Sigma E=14.3 \cdot 10^{13}$ Дж) повысились по сравнению как с параметрами предыдущего года, так и с долговременными среднегодовыми их значениями. Активизация сейсмического режима наблюдалась в основном в Туркмено-Хорасанском районе, при сейсмическом затишье в Балхано-Каспийском и Эльбурском районах.

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

Для цитирования: Сарыева Г.Ч., Петрова Н.В., Безменова Л.В. Сейсмичность Копетдагского региона в 2021 году // Землетрясения Северной Евразии. – 2025. – Вып. 28 (2021). – С. 81–93. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2025.28.07> EDN: HEYUDY

Введение. Представлены результаты анализа сейсмичности для территории, условно названной «Копетдагский регион». Регион ограничен координатами $\varphi=35-42^\circ\text{N}$, $\lambda=51-67^\circ\text{E}$ и включает в себя территорию Туркменистана, сопредельные районы северного Ирана, северного Афганистана, северо-западного Узбекистана и Каспийского моря. Сейсмичность сосредоточена, в основном, на юге и северо-западе региона, тогда как северные, центральные и восточные области Туркменистана, относящиеся к Каракумской платформе, практически асейсмичны. Проведение сейсмологических наблюдений и обработка их результатов выполнялись в 2021 г. сетью сейсмических станций и сотрудниками Института сейсмологии и физики атмосферы Академии наук Туркменистана (ИСИФА АНТ).

Сеть сейсмических станций Туркменистана, как и в предыдущие пять лет, включала в 2021 г. 34 станции (рис. 1), включая 20 стационарных, 18 из которых – с цифровой регистрацией аппаратурой типа «GEOSIG» (Ашх, Ван, Нбд, Крс, Ктр, Крк, Чгл, Кшт, Мнш, Срн, Срх, Грд, Кшк, Днт, Сун, Кар, Куг, Кнк на рис. 1), одна – аналоговая (ст. «Овадан-Тепе», код Овд) и одна – цифровая (ст. «Геокча», код Гкч) с аппаратурой корпорации IRIS. Эту сеть поддерживали передвижные цифровые станции типа «Дельта-Геон-02-03», у которых расположение точек наблюдений меняется в разные годы согласно устному или письменному распоряжению руководства Института, исходя из необходимости решения конкретных задач, возникающих в процессе наблюдений. В 2021 г. станции типа «Дельта-Геон» располагались в пунктах Ахалского и Балканского велаятов (областей) Туркменистана. Координаты станций, даты открытия/закрытия, параметры установленной на них аппаратуры приведены в [Приложение 1, 2].

Так как за последние годы сеть стационарных сейсмических станций Туркменистана существенно не изменилась, об энергетической представительности регистрации землетрясений минимум тремя станциями в 2021 г., рассчитанной по методике [1], можно судить по карте $K_{3\text{min}}$ (рис. 1), представленной в обзоре сейсмичности Копетдагского региона за 2015 г. [2]. Существующая сеть позволяет без пропусков регистрировать землетрясения представительного энергетического уровня: в Балхано-Каспийском (№ 1), Туркмено-Хорасанском (№ 3) и Центрально-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 $K_p \geq 8-9$ (табл. 1). Эти оценки подтверждаются значениями излома графика повторяемости $K_{\gamma_{\min}}$, также приведенными в табл. 1 для районов № 1, 2, 3 и для Копетдагского региона в целом. Для районов № 4 и 5 графики повторяемости за 2021 г. построить не удалось из-за недостатка данных.

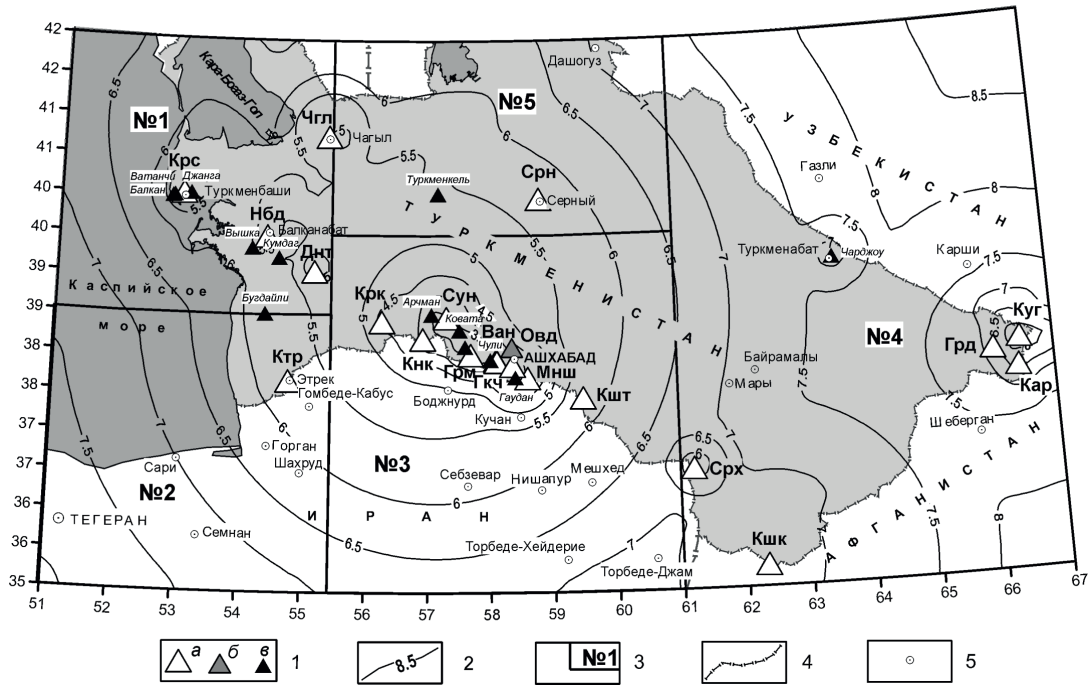


Рис. 1. Сеть сейсмических станций Туркменистана в 2021 г. и изолинии представительной регистрации землетрясений $K_{3\min}$

1 – сейсмические станции: а, б – стационарные цифровые и аналоговая соответственно (рядом указан региональный код), в – временные (передвижные) типа «Дельта-Геон» (указано название); 2 – изолинии $K_{3\min}$; 3 – границы сейсмоактивных районов с указанием номера согласно табл. 1; 4 – государственная граница; 5 – город.

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

№	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	7
2	Эльбурский	35.0–38.5	51.0–55.5	156	8	8
3	Туркмено-Хорасанский	35.0–39.5	55.5–61.0	243	7	7
4	Восточный Туркменистан	35.0–42.0	61.0–67.0	407	8–9	–
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 землетрясений. Обработка записей и определение кинематических параметров землетрясений Копетдага (координат эпицентра, глубины) осуществлялись с помощью региональных блочных годографов [3], энергетический класс K_p рассчитывался по номограмме Т. Г. Раутиан [4], магнитуды $MPVA$ – согласно [5], макросейсмические характеристики ощутимых землетрясений, в частности, наблюдаемая интенсивность сотрясений в населенных пунктах и интенсивность в эпицентре, уточнялись с использованием регионального уравнения макросейсмического поля [6]. Проверка полноты каталога [Приложение 3] и параметров включенных в него землетрясений осуществлялась путем сопоставления с данными международных центров [7]. В результате некоторые из пропущенных землетрясений были обработаны и включены в каталог [Приложение 3]. Для трех событий, одно из которых не входит в основной каталог из-за небольшой магнитуды ($K_p=7.8$), но является ощутимым, а два других не обработаны, т.к. нахо-

дятся вне границ региона, но для них определены механизмы очагов, составлен дополнительный каталог [Приложение 5]. Параметры не обработанных землетрясений взяты по данным ISC [7].

Параметры механизмов очагов 16 землетрясений, представленные в [Приложение 4] и на рис. 3, определены совместно сотрудниками ИСиФА АНТ и Геофизической обсерватории «Борок» Института физики Земли РАН (далее эти решения обозначены «КОП+ГО БОРОК») по знакам первых вступлений P -волн на сейсмических станциях Туркменистана и международных сетей из [7] с использованием методики, описанной в [8].

Основной каталог [Приложение 3] содержит 269 землетрясений с $K_p=8.6\div 13.8$, зарегистрированных сейсмическими станциями Туркменистана, 265 из которых находятся непосредственно в границах региона. На карте эпицентров (рис. 2) представлены землетрясения из этого каталога, а также события из дополнительного [Приложение 5].

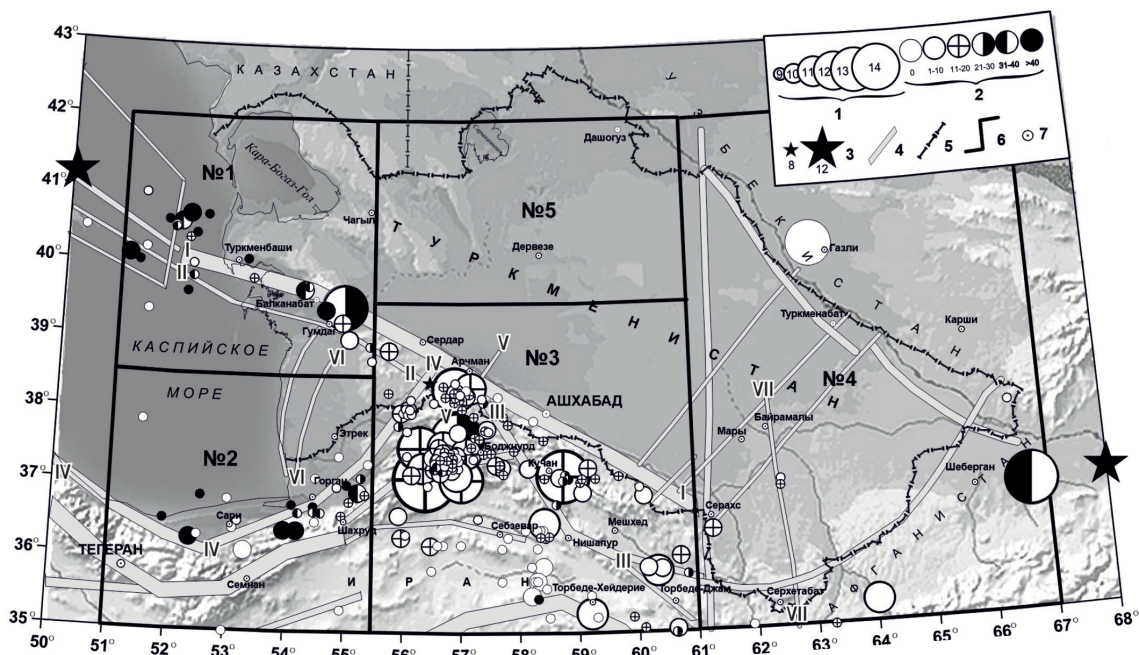


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений Копетдага в 2021 г.

1 – энергетический класс K_p землетрясений основного каталога [Приложение 3]; 2 – глубина гипоцентра h , км (0 – глубина не определена); 3 – энергетический класс K_p землетрясений дополнительного каталога [Приложение 5]; 4 – сейсмолинеamentы: I – Копетдаг-Большебалханский, II – Прибалхано-Апшеронский, III – Гермабский, IV – Эльбурс-Копетдагский, V – Эльбурс-Арчманский, VI – Шахманский, VII – Мургабский; 5 – граница Туркменистана; 6 – граница сейсмоактивного района; 7 – город.

На рис. 3 показаны диаграммы механизмов очагов землетрясений Копетдага за 2021 г. по данным КОП+ГО БОРОК и международных сейсмологических агентств GCMТ, NEIC, GFZ с указанием номера землетрясения в [Приложение 4].

В [Приложение 6] приведены сведения о проявлениях 13 ощутимых землетрясений в населенных пунктах Туркменистана и соседних стран. 11 из них ощущались в населенных пунктах Туркменистана, два – вблизи его границ. Эпицентры семи ощутимых землетрясений локализованы на территории Туркменистана, остальные – за его пределами.

Особенности сейсмического режима. Параметры сейсмического режима в регионе в целом и в отдельных сейсмоактивных районах в 2021 г. представлены в табл. 2. При расчетах учитывались землетрясения из основного каталога [Приложение 3], произошедшие в границах районов, указанных в табл. 1.

Для сравнения в табл. 3 приведены долговременные среднегодовые параметры сейсмического режима, полученные за период 2010÷2021 гг. для Копетдагского региона в целом и его сейсмоактивных районов, а также за более длительный период (1992÷2021 гг.) для Копетдагского региона. В расчет параметров за 1992÷2021 гг. не принимались их значения за 1997 г. и 2000 г., когда в регионе произошли самые крупные за последние 77 лет землетрясения: Боджнурдское 1997 г. с $MS=6.6$, $I_0=8$ баллов [9] и Балханское 2000 г. с $MS=7.3$, $I_0=8-9$ баллов [10] в сопровожде-

нии многочисленных афтершоков. Как видим из табл. 3, увеличение длительности периода почти не сказалось на среднегодовых параметрах сейсмического режима для Копетдага. В дальнейшем в статье для Копетдагского региона используются среднегодовые параметры за 2010÷2021 гг.

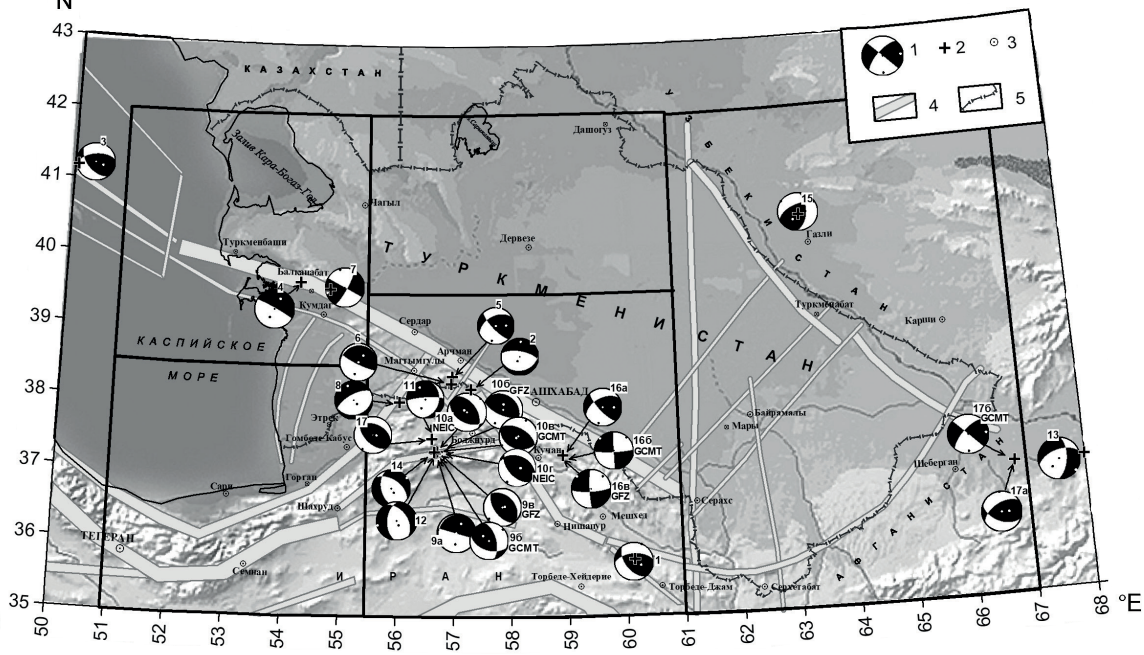


Рис. 3. Диаграммы механизмов очагов землетрясений Копетдага в 2021 г. по данным КОП+ГО БОРОК, GCMT, NEIC, GFZ

1 – диаграмма механизма очага в проекции нижней полусферы, зачернены области сжатия; 2 – эпицентр землетрясения, для которого приведена диаграмма механизма очага; 3 – город; 4 – сейсмолинеament; 5 – государственная граница.

Таблица 2. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам K_p , суммарная сейсмическая энергия ΣE и сейсмическая активность A_{10} и наклон графика повторяемости γ в сейсмоактивных районах и Копетдагском регионе в целом в 2021 г.

№	Район	K_p								N_{Σ} ($K_p \geq 8.6$)	ΣE 10^{12} Дж	γ	A_{10}	ΔK_p
		7	8	9	10	11	12	13	14					
1	Балхано-Каспийский	118	70	18	7	0	1	0	0	26	0.72	0.43	0.049	7–12
2	Эльбурский	7	43	23	5	0	0	0	0	28	0.07	0.47	0.037	8–10
3	Туркмено-Хорасанский	868	389	137	52	8	3	2	1	203	125.53	0.45	0.167	7–14
4	Восточный Туркменистан	7	3	4	1	1	1	1	0	8	17.16	–	–	–
5	Центрально-Каракумский	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	КОПЕТДАГ	1001	505	182	65	9	5	3	1	265	143.473	0.44	0.046	9–14

Примечание. ΔK_p – диапазон энергетических классов, в котором определялся параметр γ .

Всего в **Копетдагском регионе** в 2021 г. зарегистрировано $N_{\Sigma}=13146$ сейсмических событий в диапазоне энергетических классов $K_p=2\div 14$. Это количество почти в два раза выше по сравнению с таковым за предыдущий 2020 г. ($N_{\Sigma}=6937$). Число сейсмических событий с $K_p \geq 8.6$ в 2021 г. также возросло до $N_{\Sigma}=265$ по сравнению с $N_{\Sigma}=219$ в 2020 г. [11] и среднегодовым значением $N_{\Sigma_{ср}}=216$ за 2010–2021 гг. (табл. 3, рис. 4). Сейсмическая активность $A_{10}=0.046$ в 2021 г. также превысила среднегодовое значение $A_{10}=0.042$. Так как сеть станций оставалась прежней, эти изменения, видимо, вызваны значительным числом афтершоков, сопровождавших землетрясения Туркмено-Хорасанского района: 14 марта 2021 г. с $K_p=12.1$ около п. Кёнекесир (Туркменистан) и 16 мая 2021 г. с $K_p=13.8$ в провинции Северный Хорасан (Иран), в 62 км к юго-западу от г. Боджнурда. Выделившаяся сейсмическая энергия ($\Sigma E=143.47 \cdot 10^{12}$ Дж) также возросла, значительно превысив

среднегодовую за период 2010–2021 гг. ($\Sigma E=24.20 \cdot 10^{12}$ Дж) и уступая лишь максимуму 2017 г. ($\Sigma E=243.54 \cdot 10^{12}$ Дж), связанному с реализацией двух крупных землетрясений на территории Северного Ирана: 5 апреля 2017 г. с $K_p=14.3$, $M_w=6.0$ и 13 мая 2017 г. с $K_p=13.4$, $M_w=5.7$ [12, 13]. Надо отметить, что на протяжении 2012–2021 гг., как показано на рис. 4, наблюдается синхронное поведение параметров $\lg(\Sigma E)$ и N_{Σ} : увеличению выделенной сейсмической энергии в регионе сопутствует увеличение зарегистрированного числа сейсмических событий с $K_p \geq 8.6$, и наоборот.

Таблица 3. Среднегодовые значения числа N_{Σ} землетрясений разных энергетических классов, общего числа $N_{\Sigma_{\text{ср}}}$ событий с $K_p \geq 8.6$, логарифма выделенной сейсмической энергии $\lg(\Sigma E)_{\text{ср}}$, наклона графика повторяемости $\gamma_{\text{ср}}$, сейсмической активности $A_{10_{\text{ср}}}$ в сейсмоактивных районах и Копетдагском регионе

Район, регион	Годы	$N_{\Sigma}(K_p)$							$N_{\Sigma_{\text{ср}}}$ ($K_p \geq 8.6$)	$\lg(\Sigma E)_{\text{ср}}$	$\gamma_{\text{ср}}$	$A_{10_{\text{ср}}}$
		8	9	10	11	12	13	14				
Балхано-Каспийский	2010–2021	94.9	32	7.6	3.4	0.8	0.3	0.0	44.1	12.28	0.44	0.069
Эльбурский	2010–2021	62.6	31.0	10.5	3.4	0.5	0.3	0.1	45.8	12.22	0.42	0.064
Туркмено-Хорасанский	2010–2021	243.3	83.3	26.8	7.7	2.1	0.8	0.2	120.8	13.02	0.48	0.106
Восточный Туркменистан		6.4	5.9	2.3	2.1	1.3	0.3	0.0	10.3	11.60	–	
Копетдагский	2010–2021	390.1	147.8	46.9	15.8	3.9	1.42	0.3	216.2	13.38	0.49	0.042
Копетдагский	1992–2021	388.0	147.8	49.3	16.3	4.2	1.5	0.3	219.3	13.42	0.50	0.045

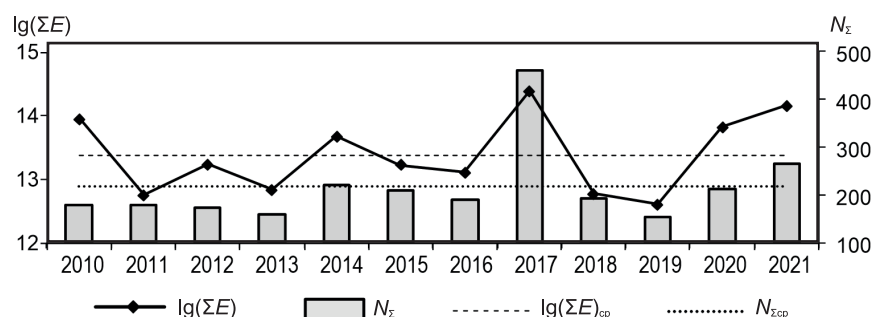


Рис. 4. Годовые значения числа землетрясений Копетдагского региона N_{Σ} и логарифмов выделенной сейсмической энергии $\lg(\Sigma E, \text{Дж})$ для периода 2010–2021 гг. в сравнении со среднегодовыми значениями

Высвобождение сейсмической энергии в регионе на протяжении 2021 г. происходило неравномерно (рис. 5). Ее максимальные значения и самое большое число землетрясений с $K_p \geq 8.6$ ($\Sigma E=9.6 \cdot 10^{13}$ Дж, $N_{\Sigma}=84$) зарегистрированы в мае (рис. 5 а, б), когда произошли два самых крупных в регионе сейсмических события: главный толчок 16 мая в провинции Северный Хорасан (Иран) с $K_p=13.8$ и его афтершок 17 мая с $K_p=13.5$. С ними связана и высокая майская ступень на кумулятивном графике высвобождения энергии (рис. 5). Другая заметная ступень на кумулятивном графике в марте связана с событием 14 марта 2021 г. с $K_p=12.1$ около Кёнекесира и его многочисленными афтершоками. Отметим, что крупные сейсмические события, зарегистрированные в сентябре ($K_p=13.4$) и октябре ($K_p=13.2$), не образовали столь значительных ступеней на графике Беньюффа (рис. 5 б), что свидетельствует о высокой скорости деформирования земной коры региона в январе–мае и ее стабилизации после майских сейсмических событий.

Глубины гипоцентров землетрясений региона с $K_p \geq 8.6$ в 2021 г. [Приложение 3] не превышали 70 км, при этом максимальное их число приурочено к слоям земной коры с $h=0-10$ км и $h=11-20$ км (рис. 6). При этом в разных сейсмоактивных районах региона это распределение различно и связано с геолого-тектоническими особенностями строения земной коры и верхней мантии.

В 2021 г. на территории Копетдагского региона ощущались 13 землетрясений, макросейсмические сведения о которых приведены в [Приложение 6]. Очаги лишь семи из них находились на территории Туркменистана, а в населенных пунктах Туркменистана ощущались 11 из них. С наибольшей интенсивностью в Туркменистане ощущалось землетрясение 14 марта с $K_p=12.1$: 4–5 баллов в п. Кёнекесир ($\Delta=10$ км).

На территории **Балхано-Каспийского района (№ 1)** в 2021 г. регистрировалась умеренная сейсмичность. В основном землетрясения располагались в акватории Каспийского моря и в зоне Копетдаг-Большебалханского сейсмолинеамента, при дефиците землетрясений с $K_p \geq 8.6$ севернее, в районе Кубадаг-Большебалханского блока (рис. 2).

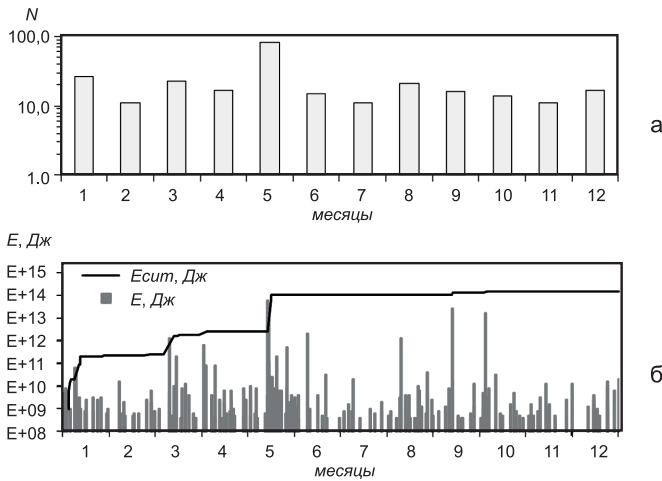


Рис. 5. Распределение количества землетрясений Копетдагского региона N по месяцам 2021 г. (а); темпы выделения сейсмической энергии E , Дж и ее кумулятивный график E_{cum} (б)

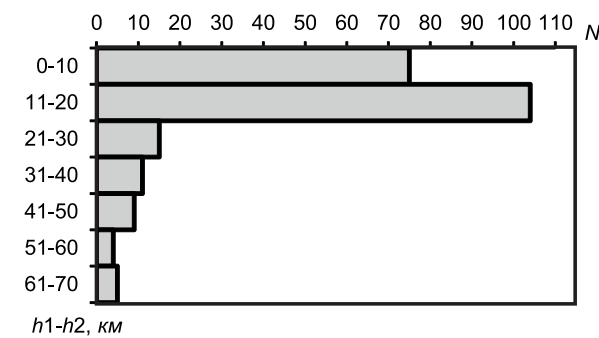


Рис. 6. Распределение числа землетрясений Копетдага с $K_p \geq 8.6$ в 2021 г. по интервалам глубин

Максимальное землетрясение с $K_p=11.8$ произошло 5 апреля в 41 км к юго-востоку от г. Балканабада, где оно ощущалось с интенсивностью $I_1=3$ балла. Согласно решению механизма очага (№ 7 на рис. 3), в очаге произошел сдвиг по Копетдаг-Большебалханскому разлому (I на рис. 2), к ориентации которого близко простирание плоскости $NP2$ ($STK=119^\circ$) механизма очага. Афтершоков после землетрясения не наблюдалось. Вблизи Балканабада в течение года реализовались еще два ощутимых землетрясения: 9 февраля с $K_p=10.2$ и 7 октября с $K_p=9.9$. В Балканабаде ($\Delta=22$ и 23 км) они проявились с интенсивностью $I_1=2$ балла.

Параметры сейсмического режима в районе № 1 в 2021 г. (сейсмическая активность $A_{10}=0.049$, число землетрясений с $K_p \geq 8.6$ $N_\Sigma=26$, выделенная сейсмическая энергия $\Sigma E=0.719 \cdot 10^{12}$ Дж) понизились по сравнению как с аналогичными параметрами за предыдущий год ($A_{10}=0.065$, $N_\Sigma=31$, $\Sigma E=4.642 \cdot 10^{12}$ Дж), так и с долговременными средними значениями из табл. 3 ($A_{10\text{cp}}=0.07$, $N_{\Sigma\text{cp}}=44$, $\Sigma E_{\text{cp}}=1.89 \cdot 10^{12}$ Дж), причем значения A_{10} и N_Σ достигли в 2021 г. минимальных значений за период 2010–2021 гг. (рис. 7).

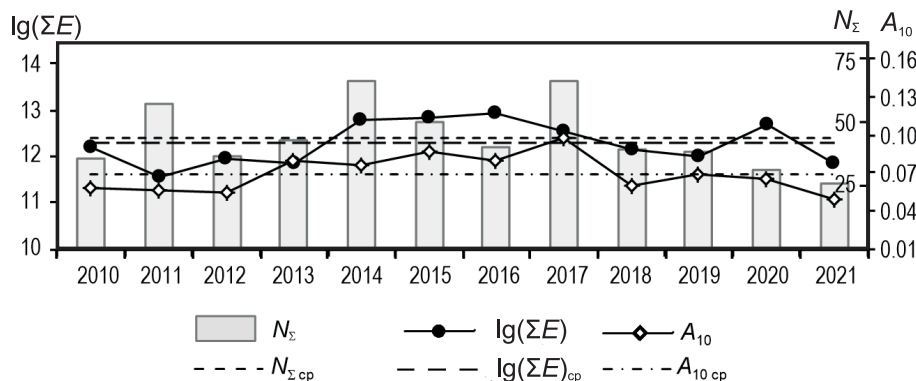


Рис. 7. Годовые значения чисел землетрясений N_Σ , логарифмов выделенной сейсмической энергии $\lg(\Sigma E)$ и сейсмической активности A_{10} на территории Балхано-Каспийского района (№ 1) в 2010–2021 гг.

Распределение сейсмических событий по глубине в районе № 1 довольно специфично (рис. 8): сейсмичность охватывает все этажи глубин от поверхности до 70 км, но, в отличие от распределения в целом по Копетдагу, максимумы числа землетрясений приурочены к более глубоким горизонтам – 31–40 км и 61–70 км. Это можно объяснить началом процесса субдукции Южно-Каспийской плиты под Средний Каспий [14, 15], при котором максимумы напряжений и деформаций в виде сейсмических подвижек приходится на верхнюю и нижнюю поверхности субдуцирующей плиты.

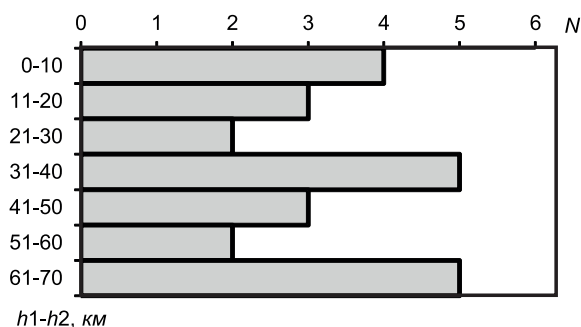


Рис. 8. Распределение числа землетрясений с $K_p \geq 8.6$ района № 1 в 2021 г. по интервалам глубин

В Эльбурском районе (№ 2) в 2021 г. зарегистрировано 28 землетрясений с $K_p \geq 8.6$, при полном дефиците сильных сейсмических событий с $K_p > 10$, что составляет 12.8% от общего числа землетрясений, зарегистрированных в регионе за год. Все параметры сейсмического режима в 2021 г. – число землетрясений $N_{\Sigma} = 28$, значения сейсмической активности $A_{10} = 0.037$ и выделенной сейсмической энергии $\Sigma E = 0.67 \cdot 10^{11}$ Дж – понижены по сравнению с таковыми не только в 2020 г. ($N_{\Sigma} = 120$, $A_{10} = 0.084$, $\Sigma E = 25.92 \cdot 10^{12}$ Дж), но и со среднегодовыми за период 2010–2021 гг. (табл. 3), что указывает на сейсмическое затишье в этом районе после максимальных за весь указанный период сейсмической активности A_{10} и числа землетрясений N_{Σ} в предыдущем году ([11], рис. 9).

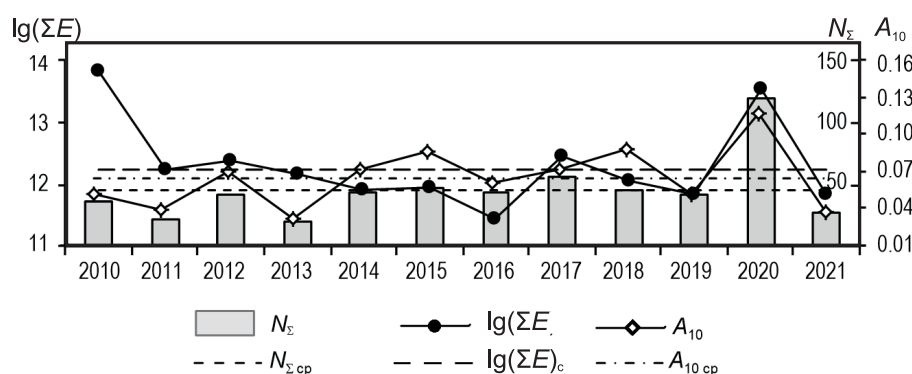


Рис. 9. Годовые значения числа землетрясений N_{Σ} , логарифмов выделенной сейсмической энергии $\lg(\Sigma E)$ и сейсмической активности A_{10} на территории Эльбурского района (№ 2) в 2010–2021 гг.

Большинство эпицентров землетрясений района № 2 приурочено в 2021 г. к зоне Эльбурс-Копетдагского сейсмолинеамента (IV на рис. 2). Также в течение года отмечена повышенная сейсмическая активность на уровне землетрясений с $K_p < 8.6$ на южном окончании Шахманского разлома (VI), на туркмено-иранской границе.

Глубины землетрясений Эльбурского района по данным Туркменской сети показаны на рис. 10. Выводы из такого распределения делать не стоит, поскольку большинство землетрясений района локализовано вдали от расположенных односторонне сейсмических станций Туркменистана, поэтому параметры гипоцентров удаленных землетрясений недостаточно надежны. Особенно это касается землетрясений южнее Каспия. Так, в статье о произошедшем здесь Чалусском землетрясении 28.05.2004 г. с $M_s = 6.3$ [16] отмечалось, что наблюдается тенденция сдвига эпицентров основного толчка и афтершоков по данным КОП (сеть станций Туркменистана) к северо-западу относительно решений ISC и других международных сейсмологических центров, а глубины гипоцентров по данным КОП варьируют в пределах $56 \div 61$ км, в отличие от $h = 3 \div 33$ км по данным ISC. При этом эпицентры афтершоков по данным ISC образуют компактную протяженную область в зоне Хазарского разлома, тогда как эпицентры по данным КОП рассеяны по большой площади.

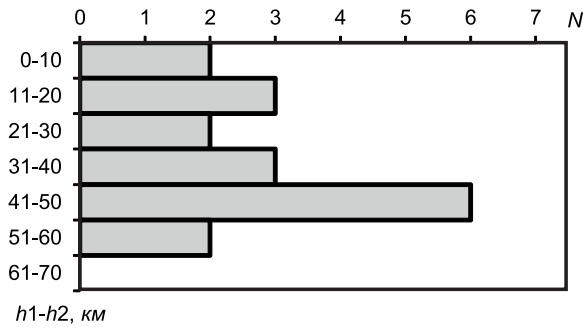


Рис. 10. Распределение числа землетрясений с $K_p \geq 8.6$ района № 2 в 2021 г. по интервалам глубин

Туркмено-Хорасанский район (№ 3), в отличие от рассмотренных выше районов № 1 и № 2, выделялся в 2021 г. высокой сейсмической активностью. Параметры сейсмического режима здесь ($A_{10}=0.167$, $N_{\Sigma}=203$, $\Sigma E=125.53 \cdot 10^{12}$ Дж) повысились по сравнению как с аналогичными параметрами за предыдущий год ($A_{10}=0.116$, $N_{\Sigma}=120$, $\Sigma E=35.81 \cdot 10^{12}$ Дж), так и с долговременными средними значениями за период 2010–2021 гг. ($A_{10\text{cp}}=0.106$, $N_{\Sigma\text{cp}}=120.8$, $\Sigma E_{\text{cp}}=13.02 \cdot 10^{12}$ Дж), уступая лишь максимальным значениям в 2017 г. (рис. 11).

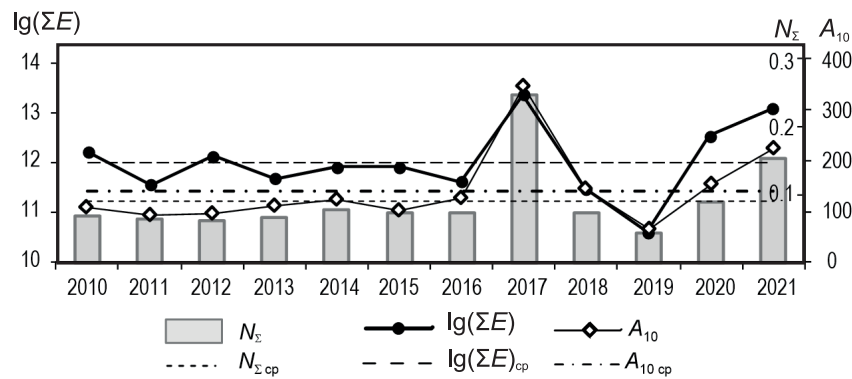


Рис. 11. Годовые значения числа землетрясений N_{Σ} , логарифмов выделенной сейсмической энергии $\lg(\Sigma E)$ и сейсмической активности A_{10} на территории Туркмено-Хорасанского района (№ 3) в 2010–2021 гг.

Все землетрясения района № 3 с $K_p \geq 8.6$ – коровые ($h \leq 50$ км), причем максимумы распределения количества землетрясений по глубине фиксируются в верхних этажах земной коры с 0–10 и 11–20 км (рис. 12). Поскольку количество землетрясений в районе № 3 в 2021 г. почти на порядок превышает таковое в районах № 1 и 2 и в 25 раз – в районе № 4, максимумы чисел землетрясений на глубинах от 0 до 20 км прослеживаются и на распределении землетрясений по глубинам в регионе в целом (рис. 6).

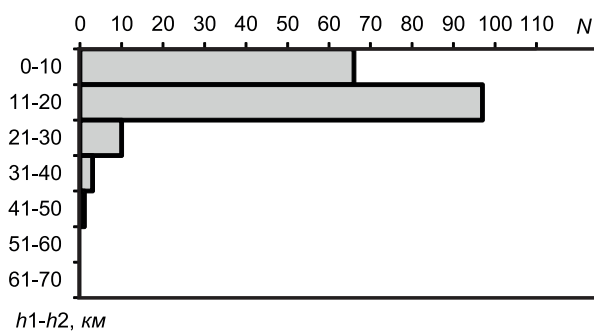


Рис. 12. Распределение числа землетрясений района № 3 с $K_p \geq 8.6$ в 2021 г. по интервалам глубин

Наиболее плотно землетрясения группировались в 2021 г. в районе горы Тагарев, южнее Арчмана, Туркменистан, и в районе г. Боджнурда, Иран (рис. 1).

В пределах Туркменистана на протяжении 2021 г. проявляла активность на уровне землетрясений с $K_p=2.0 \div 12.1$ Кёнекесирская зона (южнее Арчмана на рис. 2). Здесь 12.10.2015 г. произошло землетрясение с $K_p=12.7$, $M_w=5.2$, ощущавшееся в пограничном с Ираном п. Кёнекесир ($\Delta=17$ км) с интенсивностью $I_i=4-5$ баллов [17]. 14 марта 2021 г. в $16^{\text{h}}54^{\text{m}}$ здесь произошло самое крупное на территории Туркменистана землетрясение с $K_p=12.1$, ощущавшееся в Кёнекесире ($\Delta=10$ км) с такой же интенсивностью $I_i=4-5$ баллов по шкале MSK-64 [18]. Оценка сотрясений от события

14 марта 2021 г. в п. Бахарлы ($\Delta=44$ км) на сайте USGS [19], $I_1=5$ баллов по Модифицированной шкале Меркалли (далее ММ) [20], кажется несколько завышенной.

Механизм очага землетрясения 14 марта (№ 5 на рис. 3 и в [Приложение 4]) представляет собой сдвиг по плоскости $NP1$ юго-западного простирания ($STK1=242^\circ$), падающей на северо-запад под углом $DP1=45^\circ$, или взбросо-сдвиг по крутой ($DP2=74^\circ$) плоскости $NP2$ юго-восточного простирания ($STK2=135^\circ$). Учитывая, что на долготе западнее Арчмана в районе очага преобладают сбросо-сдвиговые разломы северо-восточного (юго-западного) простирания, как и падающая на запад нодальная плоскость $NP1$ юго-западного простирания в очаге Кёнекесирского землетрясения 2015 г. [17] при незначительном расстоянии между описываемыми событиями ($\Delta=10$ км), плоскость $NP1$ в очаге события 14 марта 2021 г. представляется предпочтительной.

Землетрясение 14 марта 2021 г. сопровождалось большим количеством афтершоков, только в марте их зарегистрировано около 3000. Всего в 2021 г. в радиусе 15 км от основного толчка лоцировано 5760 афтершоков, из них представительного уровня ($K_p \geq 5.6$ согласно [17]) – 767. Их распределение во времени показано на рис. 13. Сейсмические толчки из этого очага регистрировались почти до конца года, причем из-за их небольшой глубины и расположения очагов примерно под п. Кёнекесир ощущались даже незначительные землетрясения. Отметим, что повышенная сейсмическая активность в данном районе наблюдалась с 2015 г., после Кёнекесирского землетрясения с $K_p=12.7$, $M_w=5.2$ [17].

Если сравнить средние значения чисел землетрясений в радиусе 15 км вокруг очага 14 марта за январь–февраль ($N_{\Sigma, \text{ср}}=31.5$) и октябрь–декабрь ($N_{\Sigma, \text{ср}}=34.3$), можно считать, что афтершоковый процесс к октябрю завершился.

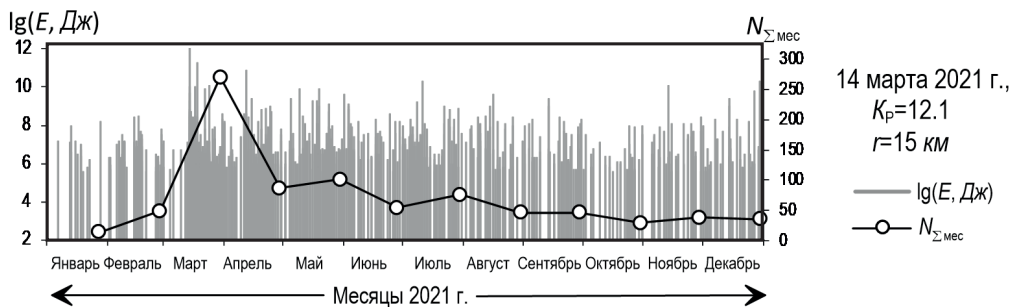


Рис. 13. Темпы выделения сейсмической энергии $\lg(E, \text{Дж})=K_p$ и месячные количества землетрясений $N_{\Sigma, \text{мес}}$ в течение 2021 г. в радиусе 15 км от эпицентра Кёнекесирского землетрясения 14 марта

Зона очага Боджнурдского землетрясения 4 февраля 1997 г. с $MS=6.6$ в 2021 г. активно работала, сгенерировав 16 мая 2021 г. в $23^{\text{h}}04^{\text{m}}$ самое крупное в регионе за год землетрясение с $K_p=13.8$ ($h=20$ км) юго-западнее г. Боджнурда (Иран). Оно ощущалось в приграничных населенных пунктах Туркменистана, а также в Ашхабаде с интенсивностью до 3 баллов по шкале MSK-64 [18], [Приложение 6]. Согласно анкете с сайта USGS [19], на иранской территории оно ощущалось с интенсивностью 6 баллов в Минудеште ($\Delta=113$ км) и 5 баллов в Боджнурде ($\Delta=62$ км) по шкале ММ [20].

Землетрясение предвлялось форшоками ($N=35$ с $K_p=5.8-9.5$ в радиусе 50 км) и сопровождалось многочисленными афтершоками ($N=725$ с $K_p \geq 5.6$), в том числе самым сильным из них, произошедшим через 46 минут после основного толчка с $K_p=13.5$ и имевшим практически те же координаты и глубину ($h=23$ км). Распределение фор- и афтершоков землетрясения 16 мая во времени показано на рис. 14. Судя по более высоким значениям N_{Σ} в последние месяцы 2021 г., особенно в декабре ($N_{\Sigma}=15$), по сравнению с предшествующим четырехмесячным периодом ($N_{\Sigma, \text{ср}}=8$), афтершоковый процесс к концу года еще не завершился.

Механизм очага главного толчка 16 мая (№ 9 а, б, в на рис. 3 и в [Приложение 4]) и сильнейшего афтершока 17 мая (№ 10 а, б, в, г на рис. 3 и в [Приложение 4]), по данным международных центров NEIC, GCMT и GFZ, представлял собой взброс по плоскости северо-западного / юго-восточного простирания, секущей субширотный сейсмолинеament и Робат-Карабильский разлом, к которым приурочен очаг.

Еще одним активным участком района № 3 в 2021 г. была Кучанская зона на территории Ирана, где 13 сентября в $04^{\text{h}}02^{\text{m}}$ зарегистрировано землетрясение с $K_p=13.4$. На территории Туркменистана землетрясение ощущалось в приграничных населенных пунктах и в Ашхабаде с интенсивностью до 3 баллов по шкале MSK-64 [18]. На иранской территории, по данным USGS [19], отмечены 5-балльные сотрясения в Кучане ($\Delta=20$ км), 4-балльные – в Дерезе ($\Delta=52$ км) и Мешхеде ($\Delta=117$ км), 2-балльные – в Нишапуре ($\Delta=95$ км) по шкале ММ. Событие сопровождалось небольшим количеством форшоков и афтершоков с $K_p=6.0-10$.

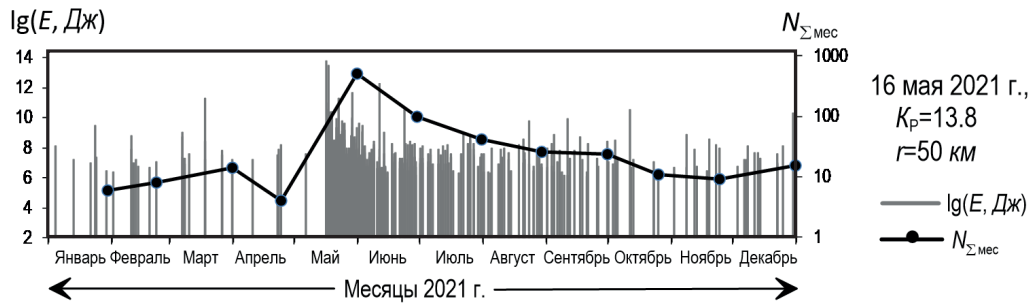


Рис. 14. Темпы выделения сейсмической энергии $lg(E, Дж)=K_p$ и месячные количества землетрясений $N_{\Sigma мес}$ в радиусе 50 км от эпицентра землетрясения 16 мая в течение 2021 г.

Механизм очага главного толчка (№ 16 а, б, в на рис. 3 и в [Приложение 4]) представлял собой чистый сдвиг по крутой ($DP=79\div 88^\circ$) широтной или меридиональной плоскости по данным GFZ и GСMT, или сдвиг с компонентами взброса по менее крутой ($DP1=50^\circ, DP2=74^\circ$) плоскости юго-западного ($STK=241^\circ$) или юго-восточного ($STK2=135^\circ$) простирания по данным КОП+ГО БОРОК.

Сейсмичность **Восточного Туркменистана (№ 4)** была сосредоточена, как и ранее, в основном на территории сопредельных государств. Непосредственно на территории Туркменистана в 2021 г. зарегистрировано всего три небольших землетрясения в районе № 4 (рис. 2): два, 2 и 3 ноября с $K_p=9$, в зоне Мургабского сейсмолинеамента (VII на рис. 2) и одно, 12 января с $K_p=10$, в 20 км к югу от г. Серахса.

В Газлийской зоне, на территории Узбекистана, 11 августа произошло землетрясение с $K_p=12.1$. В очаге реализовался взбросо-сдвиг по нодальной плоскости меридионального или запад-юго-западного простирания (№ 15 в [Приложение 4] и на рис. 3). Данные об ощутимости этого землетрясения отсутствуют.

Самое крупное землетрясение в районе № 4 произошло в Афганистане 5 октября в 07^h59^m с $K_p=13.2, h=40 км, h_{pISC}=24 км$ (рис. 2). Землетрясение ощущалось на территории Туркменистана в г. Магданлы, п. Койтен и пгт Гарлык с интенсивностью 3–4 балла по шкале MSK-64 [18], а за пределами Туркменистана – в населенных пунктах Афганистана от 2 до 6 баллов по шкале MM [20], Узбекистана от 2 до 3–4 баллов и Таджикистана (2 балла в Душанбе) по шкале MSK-64 [18] ([Приложение 6], рис. 15). Данные аппроксимированы изосейстами 3 и 4 балла, при этом не учитывались сведения с сайта USGS [19] о 3-балльных сотрясениях в населенных пунктах Термез (Узбекистан) и Шибарган (Афганистан) (не показаны на рис. 15), т.к. эти оценки представляются заниженными минимум на балл.

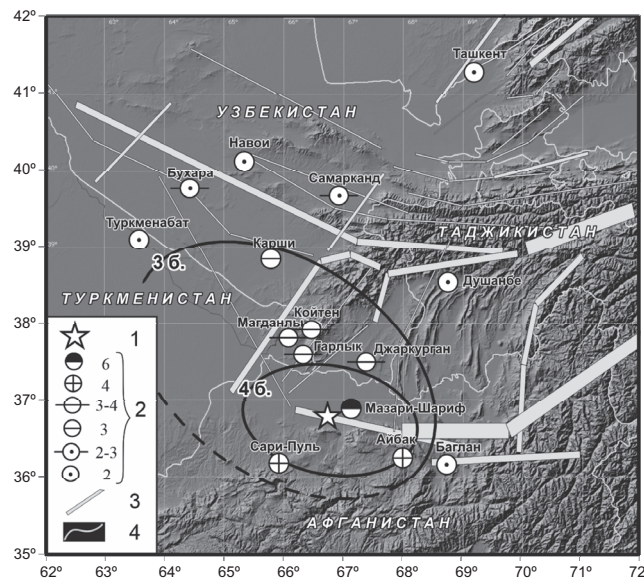


Рис. 15. Карта макросейсмических проявлений афганского землетрясения 5 октября с $K_p=13.2$ в населенных пунктах Афганистана, Туркменистана, Узбекистана и Таджикистана

1 – инструментальный эпицентр по данным сети станций Туркменистана; 2 – интенсивность в баллах; 3 – сейсмолинеамент по данным [21]; 4 – государственная граница. Черной линией показаны 4- и 3-балльные изосейсты, пунктиром – предполагаемая часть 4-балльной изосейсты.

Механизм очага землетрясения 5 октября по данным КОП+ГО БОРОК (№ 17 а на рис. 3 и в [Приложение 4] представляет собой взбросо-сдвиг по плоскости $NP1$ восток–юго-восточного простирания ($STK1=110^\circ$, $SLIP1=131^\circ$) или сдвиго-взброс по плоскости $NP2$ юго-западного простирания ($STK2=237^\circ$, $SLIP2=52^\circ$). Учитывая ориентацию $AZ=100^\circ$ сейсмолинеамента L-201 [21], к которому приурочен очаг землетрясения, а также некоторую вытянутость 4-балльной изосейсты в субширотном направлении, действующей представляется плоскость $NP1$.

Высокий энергетический класс $K_p=13.2$ афганского землетрясения 5 октября обусловил и высокое значение суммарной выделившейся в 2021 г. на территории района № 4 сейсмической энергии $\Sigma E=17.16 \cdot 10^{12}$ Дж, уступающей за период 2010–2021 гг. лишь аналогичному значению за 2014 г. ($\Sigma E=32.98 \cdot 10^{12}$ Дж).

В **Центрально-Каракумском районе (№ 5)** регистрировались лишь редкие сейсмические события с $K_p \leq 7$ в районах сейсмостанций.

Закключение. Главной особенностью сейсмического режима на территории Копетдагского региона в 2021 г. является значительное повышение сейсмической активности, числа землетрясений и выделенной сейсмической энергии в Туркмено-Хорасанском районе ($A_{10}=0.167$, $N_{\Sigma}=203$, $\Sigma E=125.53 \cdot 10^{12}$ Дж) и в регионе в целом ($A_{10}=0.046$, $N_{\Sigma}=265$, $\Sigma E=143.47 \cdot 10^{12}$ Дж), превысивших долговременные средние значения за период 2010–2021 гг., при сейсмическом затишье в Балхано-Каспийском и Эльбурском районах.

Максимальное в регионе землетрясение произошло 16 мая 2021 г. с $K_p=13.8$, $M_w=5.3$, $h=20$ км в Туркмено-Хорасанском районе юго-западнее г. Боджнурда (Иран). Вторым по энергии был его афтершок 17 мая с $K_p=13.5$.

Непосредственно на территории Туркменистана самым крупным в 2021 г. было землетрясение 14 марта с $K_p=12.1$, ощущавшееся в п. Кёнекесире ($\Delta=10$ км) с интенсивностью $I_f=4-5$ баллов по шкале MSK-64, максимальной в населенных пунктах Туркменистана в 2021 г. Землетрясение сопровождалось интенсивным афтершоковым процессом: всего в 2021 г. в радиусе 15 км от основного толчка лоцировано 5760 афтершоков, из них 767 с $K_p \geq 5.6$.

В подготовке электронных приложений к данной статье принимали участие: Г.Ч. Сарыева, Е.Н. Безменов, Л.В. Безменова, Д.Н. Абрамян, Г.М. Бахтиарова, Г. Велиева, И.А. Дурасова, С.В. Карякин, Н.А. Лукаш, В.А. Петров, Н.В. Петрова, С.Г. Пойгина, М. Союнова, Б. Тачов, А.Т. Халаева, Т. Халлыева, О.С. Хрулёва, Б. Чарыева, А. Эсенова.

Электронное приложение App04_Kopetdag_2021 (<http://www.gsras.ru/zse/app-28.html>): 1 – Сейсмические станции Копетдага, работавшие в 2021 г. и их параметры; 2 – Сведения о пунктах расположения сейсмических станций Туркменистана в 2021 г. и их переименованиях; 3 – Каталог землетрясений с $K_p \geq 8.6$ Копетдага за 2021 г.; 4 – Каталог механизмов очагов землетрясений Копетдага за 2021 г.; 5 – Дополнительный список землетрясений, не вошедших в основной каталог землетрясений Копетдага за 2021 г.; 6 – Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Копетдага в населенных пунктах в 2021 г.; 7 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Туркменистана за 2021 г.

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. Рахимов А.Р., Славина Л.Б. Региональный годограф Копетдагской сейсмической зоны // Изв. АН ТССР. – Сер. ФТХиГН. – 1984. – № 3. – С. 31–38.
4. Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км // Экспериментальная сейсмика (Труды ИФЗ АН СССР; № 32 (199)). – М.: Наука, 1964. – С. 88–93.
5. Рахимов А.Р., Соловьёва О.Н., Арбузова Г.Н. Определение магнитуды землетрясений Туркмении на эпицентральных расстояниях до 400 км // Изв. АН ТССР. – Сер. ФТХиГН. – 1983. – № 5. – С. 61–65.
6. Голинский Г.Л. Уравнения макросейсмического поля землетрясений Туркмении // Изв. АН ТССР. – Сер. ФТХиГН. – 1977. – № 1. – С. 69–74.
7. International Seismological Centre. (2025). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
8. Мострюков А.О., Петров В.А. Каталог механизмов очагов землетрясений, 1964–1990 // Материалы мирового центра данных. – М.: 1994. – 87 с.
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. 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
12. 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
13. 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, Suppl. 1. – P. S1–S13. DOI: <https://doi.org/10.3103/s0747923922070088>
14. Уломов В.И. Объемная модель динамики литосферы, структуры сейсмичности и изменений уровня Каспийского моря // Физика Земли. – 2003. – № 5. – С. 5–17.
15. Jackson J. et al. Active tectonics of the south Caspian basin // Geophysical Journal International. – 2002. – V. 148, N 2. – P. 214–245.
16. Петрова Н.В., Михайлова Р.С. Чалусское землетрясение 28 мая 2004 г. с $MS=6.3$, $I_0 \sim 8$ (Копетдаг) // Землетрясения Северной Евразии, 2004 год. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 297–302.
17. 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. – V. 58, N 1. – P. 63–85.
18. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Международная шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
19. Search Earthquake Catalog. (2025) // USGS [Site]. – URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
20. The Modified Mercalli Intensity Scale. Earthquake Topics // USGS [Web Site]. – URL: <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/modified-mercalli-intensity-scale>
21. Уломов В.И. Актуализация нормативного сейсмического районирования в составе единой информационной системы «Сейсмобезопасность России» // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2012. – Т. 39, № 1. – С. 5–38.

SEISMICITY of the KOPETDAG REGION in 2021

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@gsras.ru*

Abstract. Earthquakes in the Kopetdag region in 2021 were recorded by a network of 34 seismic stations of the Institute of Seismology and Atmospheric Physics of the Academy of Sciences of Turkmenistan. In total, the published catalog includes 269 earthquakes with $K_R \geq 8.6$, focal mechanisms were determined for 17 earthquakes. In 2021, eleven earthquakes were felt in populated areas of Turkmenistan, four of them were outside Turkmenistan. The strongest seismic events in the region were recorded on May 16 with $K_R=13.8$, May 17 with $K_R=13.5$ (aftershock), September 13 with $K_R=13.4$ in the Turkmen-Khorasan area, and October 5 with $K_R=13.2$ in Afghanistan. Directly on the territory of Turkmenistan, the strongest earthquake occurred on March 14 with $K_R=12.1$. It was felt in Kenekesir ($\Delta=10$ km) with the maximum intensity of $I_0=4-5$ in Turkmenistan in 2021. The earthquake was accompanied by an unprecedented number of aftershocks: 5760 in total and 767 with energy classes $K_R \geq 5.6$ within a radius of 15 km from the epicenter. In general in the Kopetdag region in 2021, the total number of representative earthquakes with $K_R \geq 8.6$ ($N_S=269$), seismic activity ($A_{10}=0.046$) and released seismic energy ($\Sigma E=14.3 \cdot 10^{13}$ J) increased compared to both the parameters of the previous year and long-term average annual values for 2010–2021. The activation of the seismic regime was observed mainly in the Turkmen-Khorasan area, with seismic calm in the Balkhan-Caspian and Elburs areas.

Keywords: seismic activity, seismic energy, earthquake aftershocks, focal mechanism, shaking intensity, seismic calm.

For citation: Saryeva, G.Ch., Petrova, N.V., & Bezmenova, L.V. (2025). [Seismicity of the Kopetdag region in 2021]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 28(2021), 81–93. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2025.28.07> EDN: HEYUDY

References

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. Rakhimov, A.R., & Slavina, L.B. (1984). [Regional hodograph of the Kopetdag seismic zone]. *Izv. AN TSSR* [Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR], 3, 31–38. (In Russ.).
4. Rautian, T.G. (1964). [On the determination of the energy of earthquakes at a distance of 3000 km]. In *Ekspierimental'naiia seismika (Trudy IFZ AN SSSR № 32 (199))* [Experimental seismic] (pp. 88–93). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
5. Rakhimov, A.R., Solovyova, O.N., & Arbuzova, G.N. (1983). [Determination of the magnitude of Turkmenistan earthquakes at epicentral distances up to 400 km]. *Izv. AN TSSR* [Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR], 5, 61–65. (In Russ.).
6. Golinsky, G.L. (1977). [The macroseismic field equations of the earthquakes of Turkmenistan]. *Izv. AN TSSR* [Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR], 1, 69–74. (In Russ.).
7. International Seismological Centre. (2025). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
8. Mostryukov, A.O., & Petrov, V.A. (1994). *Katalog mekhanizmov ochagov zemletryaseniia, 1964–1990* [Catalog of earthquake foci mechanisms for 1964–1990]. Moscow, Russia: Funds of “Borok” collection of the Institute of Physics of the Russian Academy of Sciences Publ., 87 p.
9. Gaipov, B.N., Golinsky, G.L., Petrova, N.V., Ilyasov, B.I., Muradov, Ch.M., Rakhimov, A.R., Bezmenova, L.V., Garagozov, D., Khodzhaev, A., Baymuradov, K., & Rakhmanova, M.S. (2003). [Bojnurd earthquake on February 4, 1997 with $M_S=6.6$, $I_0=8$ (Kopetdag)]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 1997 godu* [Earthquakes of Northern Eurasia, 1997] (pp. 199–218). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
10. Gaipov, B.N., Petrova, N.V., Golinsky, G.L., Bezmenova, L.V., & Rakhimov, A.R. (2006). [Balkhan earthquake on December 6, 2000 with $M_S=7.3$, $I_0=8-9$ (Kopetdag)]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2000 godu* [Earthquakes of Northern Eurasia, 2000] (pp. 306–320). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
11. 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
12. Petrova, N.V., Saryeva, G.Ch., Bezmenova, L.V., & Kurova, A.D. (2022). [Strong and felt earthquakes of 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](https://doi.org/10.35540/1818-6254.2022.25.29) EDN: JPXWLN
13. 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(Suppl 1), S1–S13. DOI: <https://doi.org/10.3103/s0747923922070088>
14. Ulomov, V.I. (2003). Voluminous model of dynamics of lithosphere, seismicity structure and variations of the level of Caspian Sea. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 5, 5–17. (In Russ.).
15. Jackson, J., Priestley, K., Allen, M., & Berberian, M. (2002). Active tectonics of the south Caspian basin. *Geophysical Journal International*, 148(2), 214–245.
16. Petrova, N.V., & Mikhailova, R.S. (2010). [The Chalus earthquake of May 28, 2004 with $M_S=6.3$, $I_0\sim 8$ (Kopetdag)]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2004 godu* [Earthquakes of Northern Eurasia, 2004] (pp. 297–302). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
17. 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.
18. 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.).
19. USGS. (2025). Search Earthquake Catalog. Retrieved from <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
20. The Modified Mercalli Intensity Scale. Earthquake Topics. (2025). Retrieved from <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/modified-mercalli-intensity-scale>
21. Ulomov, V.I. (2012). [Updating normative seismic zoning in the integrated information system “Seismic safety of Russia”]. *Voprosy inzhenernoi seismologii* [Seismic Instruments], 39(1), 5–38. (In Russ.).