

КОПЕТДАГ

Г. Ч. Сарыева¹, Н. В. Петрова², Л. В. Безменова¹¹ Институт сейсмологии АН Туркменистана, г. Ашхабад, Туркменистан, tm.seismology@online² Единая геофизическая служба РАН, г. Обнинск, Россия, npetrova@gsras.ru

Аннотация. В 2013 г. мониторинг сейсмических процессов в Копетдагском регионе осуществлялся стационарной сетью 19 аналоговых и двух цифровых станций, поддерживаемой 11 передвижными цифровыми станциями. С сентября по декабрь на восьми аналоговых станциях – «Даната», «Красноводск», «Небитдаг», «Кенекесир», «Кара-Кала», «Гаурдак», «Серный» и «Серахс» – были установлены цифровые комплекты типа GEOSIG с перспективой дальнейшей замены ими аналоговой аппаратуры. Всего за год зарегистрировано 158 землетрясений с $K_p \geq 8.6$, для 41 события определены механизмы очагов. В 2013 г. на территории региона снизилась как выделявшаяся сейсмическая энергия ($\Sigma E = 7.05 \cdot 10^{12}$ Дж, по сравнению с $\Sigma E = 17.62 \cdot 10^{12}$ Дж в 2012 г.), так и сейсмическая активность ($A_{10} = 0.032$ по сравнению с $A_{10} = 0.038$ в 2012 г.), однако в отдельных районах (Балхано-Каспийский, северная часть Туркмено-Хорасанского района) сейсмическая активность, наоборот, повысилась. Особенно заметна активизация сейсмичности в районе г. Магтымгулы, где она началась в 2012 г. в виде роев землетрясений с нарастающей суммарной энергией, а 9 декабря 2013 г. проявилась землетрясением с $K_p = 12.4$ с большим количеством афтершоков. Цепочка афтершоков выстроилась в северо-восточном направлении от эпицентра главного толчка, отмечая западную границу активизировавшегося в 2012–2013 гг. блока земной коры, а субширотный отрезок прямой, проходящей через эпицентры главного толчка, афтершока 10 декабря, предваряющего события 28 августа и заканчивающейся местоположением роя № 1 в 2012 г., определил его южную границу. Такое предположение о конфигурации мобильного блока земной коры поддерживает северо-восточная и субширотная ориентация плоскостей разрывов в очагах большинства землетрясений 2012–2013 гг. в этом районе, а присутствие как взбросовых, так и сбросовых компонент подвижек в очагах указывает на знакопеременный характер движений на границах блока.

Ключевые слова: Копетдаг, Туркменистан, аналоговая и цифровая станция, активизация сейсмичности, рой землетрясений, механизм очага, тип подвижки, интенсивность сотрясений.

DOI: 10.35540/1818-6254.2019.22.08

Для цитирования: Сарыева Г.Ч., Петрова Н.В., Безменова Л.В. Копетдаг // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 96–107. doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.08

В 2013 г. мониторинг сейсмического процесса в Копетдагском регионе осуществлялся стационарной сетью из 19 аналоговых и двух цифровых станций («Геокача» системы IRIS и «Гермаб» типа Дельта Геон) Государственной сейсмологической службы Академии наук Туркменистана (далее – ГСС АНТ), поддерживаемой 11 передвижными цифровыми станциями типа Дельта Геон ГСС АНТ и управления «Туркменгезлегеофизика» [1]. С сентября по декабрь на восьми аналоговых сейсмических станциях – «Даната», «Красноводск», «Небитдаг», «Кенекесир», «Кара-Кала», «Гаурдак», «Серный» и Серахс – были установлены цифровые комплекты типа GEOSIG (рис. 1), которые до конца года участвовали в регистрации землетрясений параллельно с аналоговой аппаратурой, с перспективой ее дальнейшей замены.

Аппаратура регистрации сильных движений грунта типа ССРЗ-М в начале 2013 г. была исключена из системы наблюдений из-за отсутствия фотопленки, а в 3–4 кварталах 2013 г., после оснащения части аналоговых станций цифровыми комплектами GEOSIG, регистрация сильных движений грунта возобновилась с помощью этой аппаратуры.

Возможности представительной регистрации землетрясений сетью сейсмических станций Туркменистана в 2013 г. показаны на карте энергетической представительности K_{3min} (рис. 1), построенной с помощью подходов, описанных в [2]. С внедрением высокочувствительной аппаратуры GEOSIG энергетическая представительность регистрации землетрясений сетью станций Туркменистана улучшилась. Согласно карте (рис. 1), в Туркмено-Хорасанском районе в 2013 г. без пропусков регистрировались землетрясения с представительного энергетического уровня $K_{3min} = 7$, в Центрально-Каракумском – с $K_{3min} = 8$, в Балхано-Каспийском – с $K_{3min} = 8–9$, в Эльбурском районе и на большей части Восточного Туркменистана – с $K_{3min} = 9$ (рис. 1, 2, табл. 1). Эти оценки в основном поддерживаются значениями K_{7min} , полученными из графиков повторяемости землетрясений в районах № 1, 2, 3 (табл. 1, рис. 2) за 2013 г., с тенденцией

занижения $K_{\gamma min}$ по сравнению с K_{3min} на 0.5–1.0 ед. K . Данные о количестве землетрясений с $K_p=2-8$ на рис. 2 заимствованы из банка данных ГСС АНТ, а с уровня $K_p \geq 8.6$ – из опубликованного каталога землетрясений Копетдага [3].

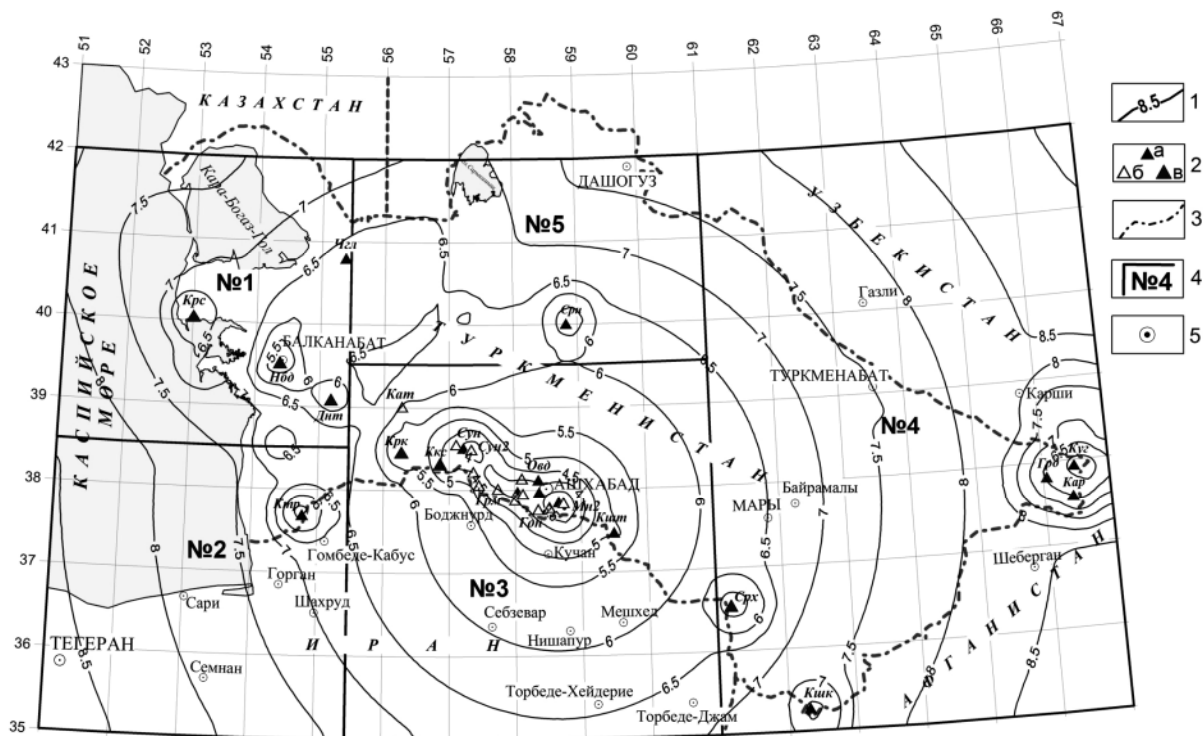


Рис. 1. Карта энергетической представительности в 2013 г. землетрясений Копетдага K_{3min} , рассчитанная по методике [2] с участием аппаратуры типа GEOSIG, внедренной в конце года

1 – изолиния K_{3min} ; 2 – сейсмическая станция аналоговая (а), цифровая типа Дельта Геон (б) или GEOSIG (в); 3 – государственная граница; 4 – граница сейсмоактивного района; 5 – город.

Таблица 1. Координаты, площади сейсмоактивных районов и региона в целом, значения энергетической представительности регистрации землетрясений K_{3min} 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_{3min}	$K_{\gamma min}$
1	Балхано-Каспийский	38.5–42.0	51.0–55.5	149	8–9	8
2	Эльбурский	35.0–38.5	51.0–55.5	156	9	8
3	Туркмено-Хорасанский	35.0–39.5	55.5–61.0	243	7–8	7
4	Восточный Туркменистан	35.0–42.0	61.0–67.0	407	9	
5	Центрально-Каракумский	39.5–42.0	55.5–61.0	130	8	
	Копетдаг	35.0–42.0	51.0–67.0	1082	9	8

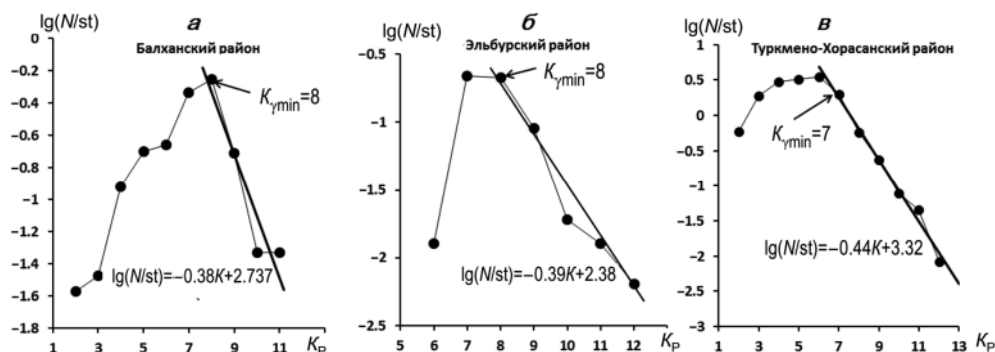


Рис. 2. Графики повторяемости и оценки $K_{\gamma min}$ в районах № 1 (а), 2 (б), 3 (в), границы и площади которых приведены в табл. 1

При обработке записей землетрясений Копетдага их кинематические параметры определялись, как и ранее, с помощью региональных блочных годографов [4], энергетический класс K_p – по палетке Т.Г. Раутиан [5], магнитуды $MPVA$ – согласно [6], макросейсмические характеристики ощутимых землетрясений – по региональному уравнению макросейсмического поля [7]. Полнота регистрации и правильность обработки записей землетрясений контролировались сопоставлением каталога землетрясений Копетдага [3] с международными каталогами и каталогами соседних стран [8–10]. Для пропущенных землетрясений с $K_p \geq 8.6$ сформирован дополнительный каталог [11], в который также включены семь зарегистрированных станциями Туркменистана землетрясений Копетдага $K_p < 8.6$, для которых определены механизмы очагов. Расчетные энергетические классы $K_{расч.}$ для землетрясений дополнительного каталога определены из магнитуд $M_{S_{ISC}}, m_{b_{ISC}}, M_{L_{TNR}}, M_{L_{TEN}}, m_{L_{AZR}}$ с помощью соотношений [12–14].

В каталоге землетрясений Копетдага [3] и на карте эпицентров землетрясений (рис. 3) представлены 158 землетрясений с $K_p \geq 8.6$, зарегистрированных сейсмическими станциями Туркменистана в 2013 году. На рис. 3 также показаны землетрясения с $K_p \geq 8.6$ из дополнительного каталога [11] (звездочки). Большинство из них локализовано в Эльбурском районе (№ 2), южнее Каспийского моря. Главные причины пропусков локализованных здесь землетрясений – большие эпицентральные расстояния до сейсмических станций Туркменистана, низкое увеличение ближайшей аналоговой станции «Кызыл-Атрек» ($V=5000$), а также удаленность от границ Туркменистана, снижающая их ценность для оценки сейсмической опасности на его территории.

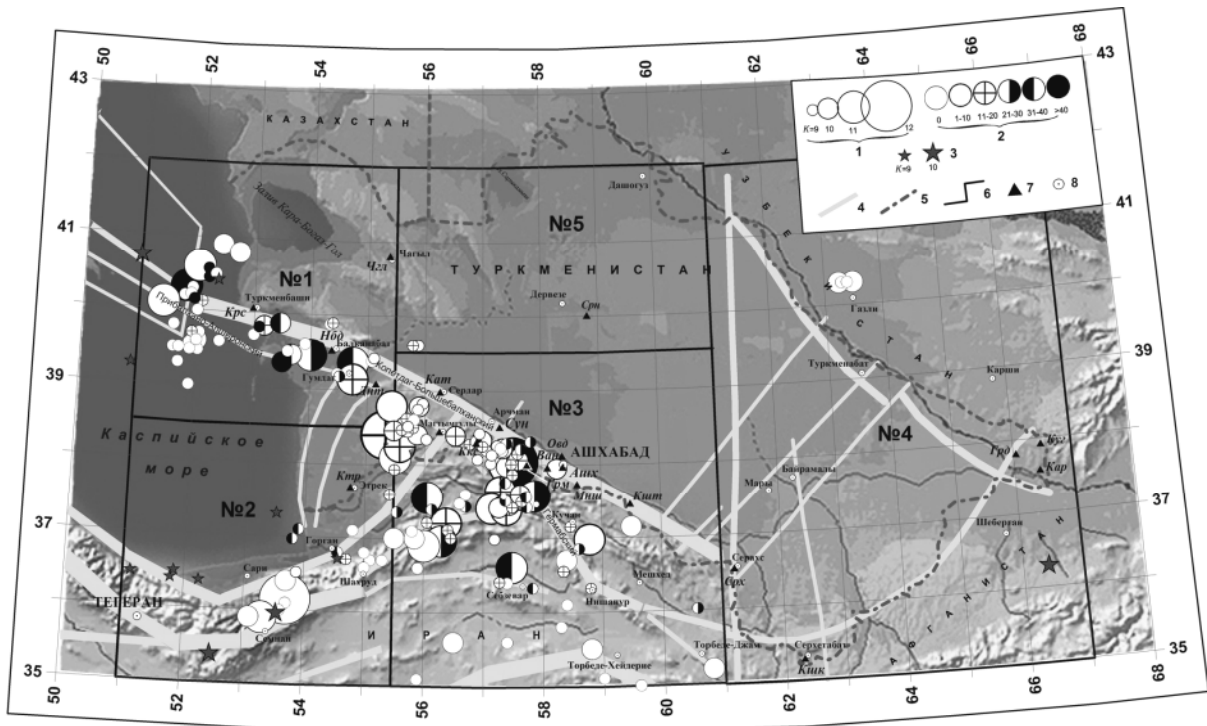


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений Копетдага за 2013 г.

1 – энергетический класс K_p землетрясений из основного каталога [3]; 2 – глубина гипоцентра h , км (0 – глубина не определена); 3 – энергетический класс K_p землетрясений из дополнительного каталога [11]; 4 – сейсмолинеament; 5 – граница Туркменистана; 6 – граница сейсмоактивного района; 7 – сейсмическая станция; 8 – город.

В табл. 2 представлены оцененные по данным основного каталога землетрясений Копетдага [3] параметры сейсмического режима в 2013 г. на территории всего региона и отдельных сейсмоактивных районов, границы которых указаны в табл. 1.

Механизмы очагов 41 землетрясения, представленных в [15] и на рис. 4, определены совместно сотрудниками Института сейсмологии Академии наук Туркменистана и филиала ИФЗ РАН Геофизической обсерватории «Борок» (далее – КОП + ГО БОРОК) по знакам первых вступлений P -волн на сейсмических станциях Туркменистана и станциях глобальной сети [8]. При решении фокальных механизмов использовались методические приемы, предложенные в [16].

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 2013 г.

№	Район	K_p					N_{Σ}	$\Sigma E,$ 10^{12} Дж	γ	A_{10}	ΔK^*
		8	9	10	11	12					
1	Балхано-Каспийский	83	29	7	7	–	126	0.722	0.38	0.080	8–11
2	Эльбурский	33	14	3	2	1	53	1.433	0.39	0.031	8–12
3	Туркмено-Хорасанский	139	57	19	11	2	228	4.86	0.44	0.083	8–12
4	Восточный Туркменистан	5	2	2	–	–	9	0.021	–	–	–
5	Центрально-Каракумский	2	2	–	–	–	4	0.0003	–	–	–
	Копетдаг	262	104	31	20	3	420	7.047	0.46	0.032	8–12

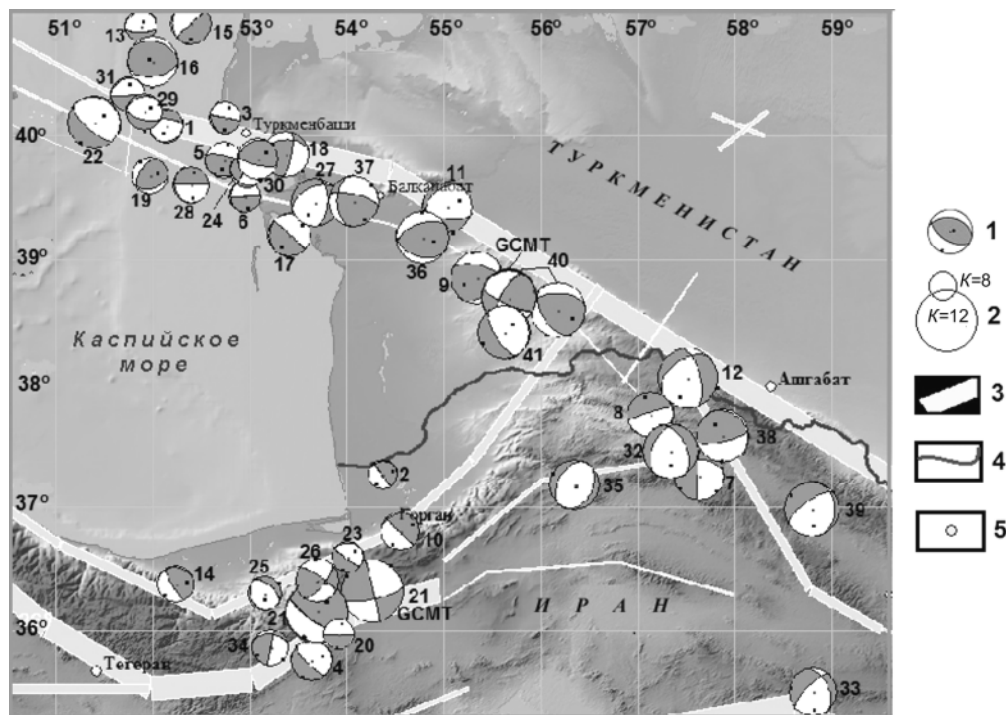


Рис. 4. Механизмы очагов землетрясений Копетдага в 2013 г.

1 – диаграмма механизма очага в проекции нижней полусферы (затемнена область сжатия, номер соответствует номеру механизма очага в [15]); 2 – энергетические классы землетрясений, диаметр окружности пропорционален K_p ; 3 – сейсмолинеament [17]; 4 – государственная граница; 5 – город.

В Балхано-Каспийском районе (№ 1) в 2013 г. наблюдалось повышение сейсмической активности и количества землетрясений всех энергетических классов при отсутствии событий с $K_p > 11$. Эпицентры землетрясений располагались в основном в Каспийской и Прибалхано-Апшеронской сейсмоактивных зонах.

Конфигурация Каспийской сейсмоактивной зоны, как и ранее, представляла собой меридионально вытянутое облако эпицентров, локализованное в месте пересечения параллельных разломных зон северо-западного простирания – Копетдаг-Большебалханской и Прибалхано-Апшеронской – с меридиональным Каспийским разломом (рис. 3). Сейсмический процесс протекал здесь значительно интенсивнее, чем в 2012 году. Так, в 2013 г. в Каспийской зоне произошли три землетрясения с $K_p = 11$, тогда как в 2012 г. здесь зарегистрированы лишь события с $K_p \leq 10$ [18].

Первое из Каспийских событий с $K_p = 11$ реализовалось 10 марта в $10^{\text{h}}41^{\text{m}}$, $K_p = 10.9$. Согласно решению механизма очага (№ 16 на рис. 4), в очаге произошел либо взброс южного крыла (NP1), либо надвиг северного крыла (NP2) субширотного разрыва. Решение для nodальной плоскости NP2 является предпочтительным с точки зрения предполагаемого поддвига Южно-Каспийского бассейна под северный Каспий в районе Челекен-Апшеронского порога [19].

Второе произошло 22 марта в $08^{\text{h}}31^{\text{m}}$ с $K_p=11.1$. Механизм очага (№ 22) представлял собой сброс южного крыла крутого разрыва юго-восточного простирания ($NP1$), или пологий сброс северного крыла разрыва запад–северо-западного простирания ($NP2$). Ориентация обеих нодальных плоскостей близка к простиранию Прибалхано-Апшеронского разлома, к которому приурочен эпицентр землетрясения 22 марта, но опускание южного крыла разрыва более соответствует тектоническим особенностям рассматриваемого района Каспия, поэтому будем считать плоскость $NP1$ действующей.

Третье землетрясение с $K_p=11$ в Каспийской зоне зарегистрировано 5 декабря в $06^{\text{h}}57^{\text{m}}$. Механизм очага определить не удалось.

Необычно низкой сейсмической активностью отличалась в 2013 г. Копетдаг-Большебалханская сейсмогенерирующая зона, обладающая самым высоким на территории Туркменистана сейсмическим потенциалом $M_{\text{max}}=8$. 26 февраля 2013 г. в $21^{\text{h}}58^{\text{m}}$ в этой зоне, в 10 км к югу от эпицентра Балханского землетрясения 2000 г. с $MS=7.3$, $I_0=8-9$ [20], произошло землетрясение с $K_p=10.7$, ощущавшееся в г. Балканабате (38 км) с интенсивностью 2–3 балла. Подвижка в очаге (№ 11 на рис. 4) представляла собой правый сбросо-сдвиг по плоскости юго-западного простирания ($NP1$), или сброс с компонентами левого сдвига по плоскости восток–юго-восточного простирания ($NP2$). В данном случае трудно выбрать истинную плоскость разрыва, т.к. нодальная плоскость $NP1$ совпадает с Межбалханским разломом юго-западного простирания, а плоскость $NP2$ – с ориентацией Копетдаг-Большебалханской сейсмогенерирующей зоны, к пересечению которых приурочен эпицентр землетрясения, а типы подвижек по обоим нодальным плоскостям не противоречат тектоническим особенностям района эпицентра.

5 сентября в $12^{\text{h}}00^{\text{m}}$ в 25 км к югу от эпицентра вышеописанного события и в 10 км к юго-востоку от пос. Кум-Даг, в зоне Прибалхано-Апшеронского разлома, произошло еще одно землетрясение с $K_p=11.1$. В Балканабате (55 км) оно ощущалось с интенсивностью до 2 баллов, сведения из Кум-Дага об ощутимости не поступали. В очаге реализовался сдвиго-надвиг по плоскости восток-юго-восточного простирания, или взброс с компонентами левого сдвига по плоскости запад-юго-западного простирания (№ 36). Хотя субширотное простирание нодальных плоскостей, с учетом ошибок, совпадает с ориентацией Прибалхано-Апшеронского разлома, к которому приурочен эпицентр, присутствие взбросо-надвиговых движений в очаге противоречит преобладающему сбросо-сдвиговому типу подвижек по этому разлому [21, 22].

23 сентября 2013 г. в $21^{\text{h}}58^{\text{m}}$ в 25 км к юго-западу от г. Балканабат зарегистрировано землетрясение с $K_p=10.8$, которое ощущалось в г. Балканабат с интенсивностью 2–3 балла. В очаге произошел правый взбросо-сдвиг по пологой ($DP=48^\circ$) меридиональной плоскости $NP1$, или левый взбросо-сдвиг по крутой субширотной плоскости $NP2$ (№ 37). Описанный механизм очага отличается от механизма очага сейсмического события с $K_p=11.8$, произошедшего в 25 км к северу годом ранее, 23 сентября 2012 г., в очаге которого произошел горизонтальный сдвиг южного крыла разрыва с присутствием сбросовых компонент. Этот сдвиг, возможно, привел к перераспределению поля напряжений в южном направлении и взбросо-сдвиговой подвижке годом позже.

В Эльбурском районе (№ 2) понизились сейсмическая активность ($A_{10}=0.031$ по сравнению с $A_{10}=0.069$ в 2012 г.) и выделенная сейсмическая энергия ($\Sigma E=1.43 \cdot 10^{12}$ Дж против $2.4 \cdot 10^{12}$ Дж в 2012 г.) при почти неизменном $\gamma=0.39$.

Максимальное в 2013 г. землетрясение на территории Эльбурского района произошло 21 марта в $19^{\text{h}}37^{\text{m}}$ с $K_p=12.1$ севернее г. Семнана, Иран (рис. 5). В районе эпицентра известно сильное историческое землетрясение 1127 г. с $M=6.8$ [23] (рис. 5). По данным GСMT [24], в очаге землетрясения 21 марта 2013 г. произошел левый сдвиг по плоскости восток-северо-восточного простирания ($NP1$), совпадающего с простиранием Дамганского разлома (рис. 5), или правый сдвиг по разрыву близмеридионального простирания ($NP2$). Механизм очага по данным КОП + ГО БОРОК – надвиг по пологой субширотной плоскости с подъемом северного крыла разлома, или взброс по крутой плоскости юго-восточного простирания, секущей Северо-Эльбурский разлом – отличается от такового по данным GСMT [24]. Нодальную плоскость $NP1$ в решении GСMT примем за реальную плоскость разрыва, поскольку подвижка по ней (левый сдвиг) наилучшим образом согласуется с преобладающим типом движений по разломам северо-восточного простирания в этом районе Эльбурса.

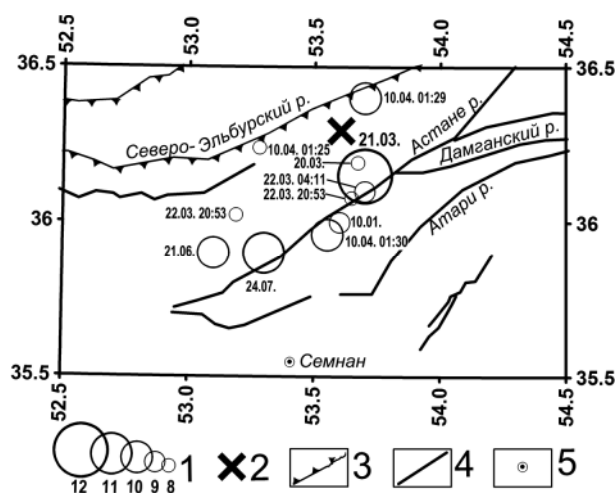


Рис. 5. Сейсмические события в 2013 г. в районе землетрясения 21 марта в $19^{\text{h}}37^{\text{m}}$ с $K_p=12.1$. Рядом с эпицентром указана дата землетрясения (день/месяц), для событий со сходной датой – также время (часы/минуты)

1 – энергетический класс K_p ; 2 – эпицентр землетрясения 1127 г. с $M=6.8$ [22]; 3 – разлом надвигового типа; 4 – разлом без указания типа; 5 – город.

Землетрясение 21 марта имело фор- и афтершоки, среди которых, согласно данным [3, 11], – два события с $K_p=10$ и два – с $K_p=9$ (рис. 5). Для форшоков 10 января в $05^{\text{h}}16^{\text{m}}$ с $K_p=8.1$ (№ 4 на рис. 4) и 20 марта в $18^{\text{h}}09^{\text{m}}$ с $K_p=8.1$ (№ 20), а также афтершоков 22 марта в $20^{\text{h}}53^{\text{m}}$ с $K_p=8.4$ (№ 23) и 10 апреля в $01^{\text{h}}29^{\text{m}}$ с $K_p=9.9$ (№ 26) определены механизмы очагов, которые отличаются большим разнообразием. В очагах форшоков (№№ 4, 20) и афтершока 22 марта (№ 23) произошли сбросо-сдвиговые подвижки по плоскостям, ортогональным плоскости разрыва при главном толчке или секущим ее (рис. 4). Лишь сдвиговая подвижка при афтершоке 10 апреля (№ 26) близка к решению GСMT [24], с той разницей, что левый сдвиг по ней произошел по плоскости, совпадающей с простираем разлома Астане на рис 5. Так как разломы Астане и Дамганский пересекаются в районе эпицентра (рис. 5), можно предположить, что процесс разрывообразования при главном толчке и сопровождающих его событиях затронул оба эти разлома.

В районе недавнего разрушительного Кух-Зарского землетрясения 27 августа 2010 г. с $M_w=5.8$, $I_0=7-8$ [25], локализованного в 110 км к юго-востоку от вышеописанного землетрясения 21 марта 2013 г. с $K_p=12.1$, туркменской сетью станций не зарегистрировано ни одного сейсмического события.

В Туркмено-Хорасанском районе (№ 3) сейсмическая активность A_{10} несколько повысилась ($A_{10}=0.083$ по сравнению с $A_{10}=0.073$ в 2012 г.), несмотря на понижение выделенной сейсмической энергии ($\Sigma E=4.86 \cdot 10^{12}$ Дж против $14.1 \cdot 10^{12}$ Дж в 2012 г.) за счет реализации в 2012 г. в южной части района № 3 землетрясения с $K_p=13$, тогда как в 2013 г. землетрясений данной энергии не зарегистрировано. Количество землетрясений с $K_p=9-12$ осталось на прежнем уровне.

Продолжалась активизация сейсмичности в районе г. Магтымгулы, где в 2012 г. были отмечены три роевые последовательности землетрясений [18] – рой 20–21 апреля (№ 1) из 50 слабых землетрясений с $K_p=5.4-9.3$ в 15 км к востоку от г. Магтымгулы и рой 8–9 сентября (№ 2) и 1–2 октября (№ 3) в 30–80 км к западу, с максимальными событиями с $K_p=11.0$ и $K_p=11.7$ соответственно (рис. 6, 7). В 2013 г. район роя № 1 оставался слабоактивным на уровне событий с $K_p \geq 8.6$ – здесь зарегистрированного лишь одно сейсмическое событие 23 сентября в $23^{\text{h}}30^{\text{m}}$ с $K_p=9.8$. Зато в месте роев № 2 и № 3 9 декабря 2013 г. в $11^{\text{h}}33^{\text{m}}$ возникло крупное землетрясение с $K_p=12.4$, предварявшееся крупным форшоком 9 августа в $11^{\text{h}}43^{\text{m}}$ с $K_p=10.6$ и сопровождавшееся большим количеством афтершоков (рис. 6, 7).

Главный толчок 9 декабря произошел в 65 км к западу от г. Магтымгулы и в 92 км к юго-западу от г. Сердара. В обоих населенных пунктах он ощущался с интенсивностью до 2 баллов. По данным GСMT [24], в его очаге реализовался правый сдвиг по плоскости юго-восточного простираения $NP1$, или левый сдвиг по плоскости юго-западного простираения $NP2$ (№ 40). Решение КОП + ГО БОРОК отличается присутствием взбросовых компонент – левый взбросо-сдвиг по широтной плоскости ($NP1$), или правый – по плоскости юго-восточного простираения ($NP2$). Ориентация плоскостей $NP2$ по данным обоих источников близка к ориентации активных разломов в месте эпицентра (рис. 6), а тип подвижек по ним соответствует преобладающему типу подвижек по Копетдагским разломам северо-западного (юго-восточного) простираения – правый сдвиг, – установленному по инструментальным данным и натурным наблюдениям [21, 22, 26, 27].

Обращает на себя внимание северо-восточная ориентация цепочки из большинства эпицентров афтершоков землетрясения 9 декабря, пересекающей под прямым углом сейсмолинеament северо-западного простираения (рис. 6). Вероятно, эти события отмечают западную границу активизировавшегося в 2012–2013 гг. блока земной коры.

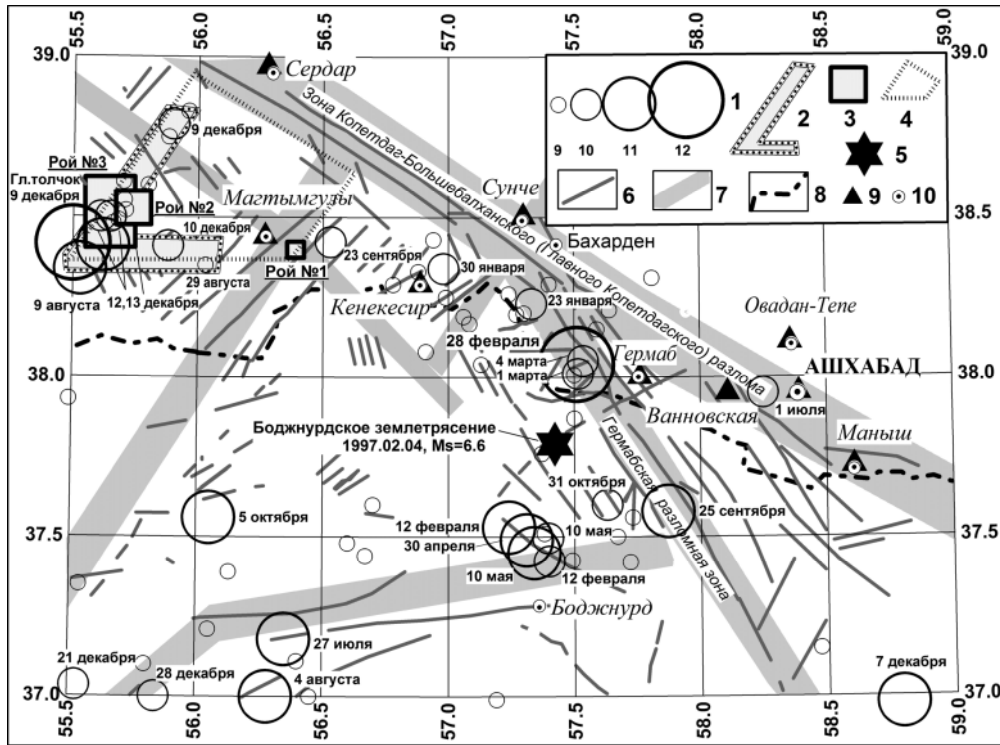


Рис. 6. Сейсмичность в 2013 г. и разломная тектоника в северо-западной части Туркмено-Хорасанского района

1 – эпицентры и соответствующие энергетические классы K_p , для событий с $K_p \geq 9.6$, рядом с эпицентром указана дата; 2 – область активизации сейсмичности в 2013 г. в связи с подготовкой и последствием землетрясения 9 декабря 2013 г. с $K_p=12.4$; 3 – области роевых последовательностей 20–21 апреля 2012 г. (рой № 1), 8–9 сентября 2012 г. (рой № 2) и 1–2 октября 2012 г. (рой № 3) в районе г. Магтымгулы в 2012 г. [18]; 4 – предполагаемые границы мобильного блока земной коры в районе г. Магтымгулы; 5 – эпицентр Боджнурдского землетрясения 4 февраля 1997 г. с $M_s=6.6$; 6 – активный разлом [26]; 7 – сейсмолинеament [17]; 8 – государственная граница; 9 – сейсмическая станция; 10 – населенный пункт.

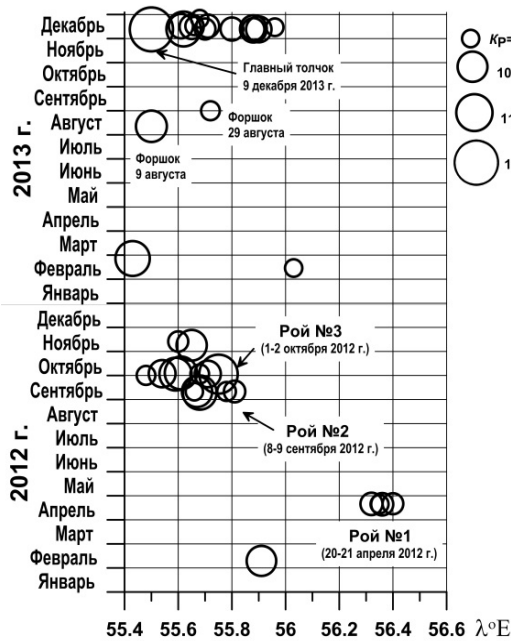


Рис. 7. – Пространственно-временное распределение в 2012–2013 гг. землетрясений с $K_p \geq 8.6$ в районе г. Магтымгулы с координатами: $\varphi=38.2-39^\circ N$, $\lambda=55.5-56.5^\circ E$

Два сейсмических события – удаленный форшок 29 августа в $01^h 09^m$ с $K_p=8.8$ и афтершок 10 декабря в $03^h 42^m$ с $K_p=10.0$, вместе с эпицентром главного толчка 9 декабря и местом возникновения роя № 1, – отмечают вероятную южную границу этого мобильного блока, перемещения которого могли привести к повышению напряжений в местах его контакта с другими тектоническими элементами и их разрядке в виде роев 2012 г. и серии землетрясений 2013 г. (рис. 6, 7). Такую ориентацию границ мобильного блока подтверждают механизмы очагов семи роевых землетрясений 2012 г. [18], при которых преобладали подвижки по плоскостям субширотной и юго-западной (северо-восточной) ориентации, хотя к концу роя № 3 появились две подвижки с юго-восточной ориентацией разрыва.

Другая отмеченная в [18] особенность механизмов очагов роевых землетрясений 2012 г. – тенденция смены типа подвижек в очагах от взбросов в течение роя № 2 и в начале роя № 3 к сбросам к концу серии № 3. Тенденция смены знака подвижки наблюдалась и в серии декабрьских землетрясений 2013 г. в районе г. Магтымгулы. Как было

отмечено ранее, при подвижке в очаге главного толчка 9 декабря преобладали взбросо-сдвиговые компоненты. В решении механизма очага для его максимального афтершока 9 декабря в $23^{\text{h}}19^{\text{m}}$ с $K_p=11.1$ (№ 41 на рис. 4) присутствовала плоскость разрыва с тем же простиранием ($STK=148^\circ$), что и для главного толчка по данным КОП + ГО БОРОК, однако с обратным типом подвижки – сброс. Вероятно, разрядка напряжений на границах мобильного блока сопровождалась знакопеременными движениями.

Еще одно крупное сейсмическое событие в районе № 3 с $K_p=12.0$ произошло 28 февраля в $11^{\text{h}}05^{\text{m}}$ в 20 км к западу от сейсмической станции Гермаб, в месте ответвления Гермабского разлома от Копетдаг-Большебалханского (рис. 6). Землетрясение ощущалось с интенсивностью 3 балла в пос. Бахарлы (45 км), 2–3 балла – в Ашхабаде (67 км). В очаге произошел левый сбросо-сдвиг по плоскости $NP1$ юго-западного простирания, или правый сбросо-сдвиг по плоскости $NP2$ север–северо-западной ориентации (№ 12 на рис. 4). Решение для плоскости $NP2$ предпочтительно, т.к. ее ориентация и подвижка в очаге типичны для Гермабского разлома [22, 27], к которому приурочен эпицентр землетрясения. В очаговой зоне зарегистрирован ряд афтершоков, два из них (1 марта в $05^{\text{h}}33^{\text{m}}$ и 4 марта в $14^{\text{h}}45^{\text{m}}$) – с $K_p=10$.

В феврале–апреле в 20 км к северу от иранского г. Боджнурда реализовалась серия из четырех землетрясений близкой энергии – 12 февраля в $12^{\text{h}}26^{\text{m}}$ с $K_p=10.8$, 12 февраля в $17^{\text{h}}37^{\text{m}}$ с $K_p=10.2$, 30 апреля в $02^{\text{h}}00^{\text{m}}$ с $K_p=10.9$ и 10 мая в $15^{\text{h}}55^{\text{m}}$ с $K_p=11.3$, которые имели собственные афтершоки (рис. 6). Землетрясения 12 февраля ощущались в иранском г. Боджнурде [8]. В очаге максимального толчка (№ 7 на рис. 4) произошел сброс по вертикальной меридиональной плоскости, или сдвиг с небольшой компонентой сброса по наклонной субширотной плоскости. При последующем толчке 12 февраля (№ 8) реализовалась сбросовая подвижка по крутой ($NP1$) или по почти горизонтальной ($NP2$) плоскости, ориентированной на запад–юго-запад или северо-восток соответственно. Землетрясение 10 мая с $K_p=11.3$ также имело сбросовый механизм очага (№ 32). Сброс с компонентами правого сдвига произошел по плоскости северо-западного простирания, или с компонентами левого сдвига – по плоскости юго-западного простирания. Отметим схожесть механизмов очагов землетрясений 12 февраля (№ 12) и 10 мая (№ 32), локализованных на северной и южной границах афтершоковой зоны разрушительного Боджнурдского землетрясения 4 февраля 1997 г. с $M_s=6.6$ [28], вытянутой в направлении север–юг. Вероятно, их положение отмечает области повышенных напряжений, перераспределенных в ходе главного толчка и афтершокового процесса Боджнурдского землетрясения.

В Восточном Туркменистане (№ 4) выделенная сейсмическая энергия и общее количество землетрясений были гораздо ниже, чем в 2012 году. Это выразилось в отсутствии землетрясений с $K_p \geq 10.6$, тогда как в 2012 г. здесь произошло три таких события.

Все зарегистрированные в районе № 4 туркменской сетью землетрясения – два события с $K_p=9$ и два с $K_p=10$ – локализованы в Газлийской очаговой зоне. Еще одно сейсмическое событие с $K_p=10$ [11], зарегистрированное сетью станций Таджикистана и включенное в каталог ISC [8], произошло на территории Афганистана, в 76 км к юго-востоку от г. Шебергана.

В Центральном-Каракумском районе (№ 5) 5 и 6 октября зарегистрировано два слабых события с $K_p=9$, которые локализованы на юго-западе района. Ранее в течение многих лет этот район отличался сейсмическим молчанием.

Закключение. Несмотря на снижение в 2013 г. выделившейся на территории Копетдагского региона сейсмической энергии ($\Sigma E=7.05 \cdot 10^{12}$ Дж по сравнению с $\Sigma E=17.65 \cdot 10^{12}$ Дж в 2012 г.) и других параметров сейсмического режима (A_{10} , γ , N_{Σ}), в отдельных районах сейсмическая активность, наоборот, повысилась (в Балхано-Каспийском районе и в северной части Туркмено-Хорасанского района). Особенно заметна активизация сейсмичности в районе г. Магтымгулы, которая началась в 2012 г. в виде роев землетрясений с нарастающей суммарной энергией, а в декабре 2013 г. проявилась землетрясением с $K_p=12.4$ с большим количеством афтершоков.

Л и т е р а т у р а

1. Сарыева Г.Ч., Карякин С.В., Безменов Е.Н., Безменова Л.В., Петрова Н.В. (сост.). Сейсмические станции Копетдага и их параметры в 2013 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – Приложение на CD_ROM.

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. (отв. сост.), Тачов Б., Халлаева А.Т., Клочков А.В., Дурасова И.А., Эсенова А., Петрова Н.В., Мустафаев Н.С. (сост.)**. Каталог землетрясений Копетдага за 2013 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – Приложение на CD_ROM.
4. **Рахимов А.Р., Славина Л.Б.** Региональный годограф Копетдагской сейсмической зоны // Изв. АН ТССР. – Сер. ФТХиГН. – 1984. – № 3. – С. 31–38.
5. **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.
6. **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.
7. **Голинский Г.Л.** Уравнения макросейсмического поля землетрясений Туркмении // Изв. АН ТССР. – Сер. ФТХиГН. – 1977. – № 1. – С. 69–74.
8. **International Seismological Centre**, Thatcham, Berkshire, United Kingdom, 2015 [Сайт]. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>
9. **Iranian Seismological Centre**. Online Databank. – URL: <http://irsc.ut.ac.ir/bulletin.php>
10. **Етирмишли Г.Д., Абдуллаева Р.Р., Исмаилова С.С. (отв. сост.), Казымова С.Э., Расулова З.М., Исламова Ш.К. (сост.)**. Каталог землетрясений Азербайджана с $K_p \geq 9.0$ в государственных границах +30 км за 2013 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – Приложение на CD_ROM.
11. **Петрова Н.В., Безменова Л.В., Лукаш Н.А., Левина В.И. (сост.)**. Дополнительный список землетрясений, не вошедших в основной каталог землетрясений Копетдага за 2013 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – Приложение на CD_ROM.
12. **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.
13. **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.
14. **Етирмишли Г.Д., Абдуллаева Р.Р., Аллахвердиева З.Г., Асадов Т.Б.** Количественные соотношения между различными типами магнитуд землетрясений Азербайджана // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 480–487.
15. **Петров В.А., Безменова Л.В. (отв. сост.), Петрова Н.В., Лукаш Н.А., Левина В.И. (сост.)**. Каталог механизмов очагов землетрясений Копетдага за 2013 год // Землетрясения Северной Евразии. Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – Приложение на CD_ROM.
16. **Мострюков А.О., Петров В.А.** Каталог механизмов очагов землетрясений, 1964–1990 // Материалы мирового центра данных. – М.: 1994. – 87 с.
17. **Ulomov V. and Trifonov V. (editors)**. Map of Lineament-Domain model of Seismic Source Zones / SHA – Caucasus test Area. 1997. – <http://static.seismo.ethz.ch/gshap/caucas/caucas.html>.
18. **Сарыева Г.Ч., Петрова Н.В., Безменова Л.В.** Копетдаг // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 95–103.
19. **Уломов В.И.** Объемная модель динамики литосферы, структуры сейсмичности и изменений уровня Каспийского моря // Физика Земли. – 2003. – № 5. – С. 5–17.
20. **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.
21. **Борисов В.А., Рогожин Е.А.** Кумдагское землетрясение 14 марта 1983 года: материалы геологического изучения // ДАН СССР. – 1984. – 224. – № 4. – С. 157–161.
22. **Петрова Н.В., Аннаоразова Т.А.** Напряженное состояние и типы подвижек в очагах землетрясений Копетдаг-Каспийского региона // Материалы XVIII Международной научно-практической конференции 24–29 сентября 2012 г. – Воронеж: Научная книга, 2012. – С. 260–264.

23. **Ambraseys N.N., Melville C.P.** A history of Persian earthquakes. Cambridge: Cambridge University Press, 1982. – 219 p.
24. **Global CMT Catalog (GCMT)** [Сайт]. – URL: <http://www.globalcmt.org/>
25. **Петрова Н.В.** Кух-Зарское землетрясение 27 августа 2010 г. с $K_p=13.8$, $M_w=5.8$, $I_0=7-8$ (Эльбурский район Копетдага) // Землетрясения Северной Евразии, 2010 год. – Обнинск: ГС РАН, 2016. – С. 361–370.
26. **Berberian Manuel.** Historical seismicity (pre 1900) map of Iran // Geological Survey of Iran, Tectonic-Seismotectonic Research Section. – Edition 1977.
27. **Расцветаев Л.М.** О роли горизонтальных напряжений в формировании новейшей структуры Копетдага // Новейшие тектонические движения и структура альпийского геосинклинального пояса Юго-Запада Евразии. Баку: Элм, 1980. – С. 138–144.
28. **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.

METADATA IN ENGLISH

КОПЕТДАГ

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

¹ *Institute of Seismology, Academy of Sciences of Turkmenistan, Ashgabat, Turkmenistan, tm.seismology@online*

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

Abstract. In 2013, the seismic process in the Kopetdag region was monitored by a stationary network of nineteen analog and two digital stations supported by eleven mobile digital stations. From September to December, eight GEOSIG-type digital sets of equipment were installed at eight analog stations – “Danata”, “Krasnovodsk”, “Nebitdag”, “Kenekesir”, “Kara-Kala”, “Gaurdak”, “Serniy” and “Serakhs” – with the prospect of further replacement of analog equipment. In total, 158 earthquakes with $K_p \geq 8.6$ were recorded by Turkmenistan seismic stations during the year, and focal mechanisms were determined for 41 events. The installation of highly sensitive equipment did not lead to an increase in the number of registered earthquakes, since in 2013, the released seismic energy ($\Sigma E = 7.05 \cdot 10^{12}$, J compared to $\Sigma E = 17.62 \cdot 10^{12}$, J in 2012) and seismic activity decreased in the region’s territory ($A_{10} = 0.032$ compared to $A_{10} = 0.038$ in 2012). Despite the decrease of seismic activity in the region as a whole, in some areas (Balkhan-Caspian, the northern part of the Turkmen-Khorasan area), on the contrary, it increased. Particularly noticeable is the intensification of seismicity in the area of Magtymguly town, which began in 2012 in the form of swarms of earthquakes with increasing total energy, and on December 9, 2013 was manifested by an earthquake with $K_p = 12.4$, felt in the towns of Serdar and Magtymguly with an intensity of 2 on the MSK-64 scale and accompanied by a large number of aftershocks. The chain of aftershocks of the earthquake on December 9 was lined up in the northeast direction from the epicenter of the main shock, marking the western border of the earth’s crust block activated in 2012–2013. The sublatitudinal segment of a line, passing through the epicenters of the main shock, aftershock on December 10, previous event of August 28 and ending with the location of the swarm No.1 of 2012, defined its southern boundary. Such an assumption about the configuration of the mobile block of the earth’s crust is supported by the northeastern and sublatitudinal orientation of the nodal planes of most focal mechanisms of 2012–2013 earthquakes in this area, and the presence of both reverse and normal fault components of a slip indicates an alternating pattern of movement on the block boundaries. Another major seismic event in Turkmenistan with $K_p = 12.0$ occurred on February 28 at 11^h05^m, 20 km West of the Germab seismic station, at the site of the intersection of the Germab fault and the Main Kopetdag fault. The earthquake was felt with intensity $I=3$ in the village of Baharly, $I=2-3$ in Ashgabat. The movement in the source was a right-lateral strike-slip with a normal fault component along the north–north-west plane coinciding with the Hermab fault orientation.

Key words: Kopetdag, Turkmenistan, analog and digital equipment, activation of seismicity, earthquake swarm, focal mechanism, types of movement, shaking intensity.

DOI: 10.35540/1818-6254.2019.22.08

For citation: Saryeva, G.Ch., Petrova, N.V., & Bezmenova, L.V. (2019). Kopetdag. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22 (2013), 96–107. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.08

References

1. Saryeva, G.Ch., Karyakin, S.V., Bezmenov, E.N., Bezmenova, L.V., & Petrova, N.V. (2019). Kopetdag seismic stations and their parameters in 2013. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii, 2013 god* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2013], 22 (2013), Appendix on CD. (In Russ.).
2. Petrova, N.V., Abaseev, S., & Sariyeva, G.Ch. (2013). [Methods for estimating K_{min} at registration of earthquakes with digital and analog stations of Turkmenistan]. In *Zemletryaseniia Severnoi Evrazii, 2010 god* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2010] (pp. 396–406). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
3. Saryeva, G.Ch., Tachov, B., Hallaeva, A.T., Klochkov, A.V., Durasova, I.A., Esenova, A., Petrova, N.V. & Mustafaev, N.S. (2019). Catalog of Kopetdag earthquakes for 2013 *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii, 2013 god* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2013], Appendix on CD. (In Russ.).
4. 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. Physical & Technical, Chemical & Geological Sciences], 3, 31–38. (In Russ.).
5. Rautian, T.G. (1964). [On the determination of the energy of earthquakes at a distance of 3000 km]. In *Ekspperimental'naiia seismika. Trudy IFZ ANSSSR № 32(199)* [Experimental seismic. Proceedings of the IFZ SA USSR № 32(199)] (pp. 88–93). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
6. 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. Physical & Technical, Chemical & Geological Sciences], 5, 61–65. (In Russ.).
7. 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. Physical & Technical, Chemical & Geological Sciences], 1, 69–74. (In Russ.).
8. International Seismological Centre. (2019). On-line Bulletin, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom. Retrieved from <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>
9. Iranian Seismological Centre. (2019). Online Databank. Retrieved from: <http://irsc.ut.ac.ir/bulletin.php>
10. Etirmishli, G.D., Abdullayeva, R.R., Ismailova, S.S., Kazymova, S.E., Rasulova, Z.M., & Islamova, Sh.K. (2019). Catalog of earthquakes in Azerbaijan with $K_p \geq 9.0$ within state boundaries +30 km for 2013. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], Appendix on CD. (In Russ.).
11. Petrova, N.V., Bezmenova, L.V., Lukash, N.A., & Levina, V.I. (2019). Additional list of earthquakes not included in the main catalog of Kopetdag earthquakes for 2013. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii, 2013 god* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2013], Appendix on CD. (In Russ.).
12. Petrova, N.V. (2010). [Relations between estimates of the magnitude of Kopetdag earthquakes according to data from various seismological centers]. In *Zemletryaseniia Severnoi Evrazii, 2004 god* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2004] (pp. 409–417). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
13. Petrova, N.V., Bezmenova, L.V., Saryeva, G.Ch., & Charyyev, M.M. (2011). [Kopetdag]. In *Zemletryaseniia Severnoi Evrazii, 2005 god* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2005] (pp. 112–127). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
14. Etirmishli, G.D., Abdullayeva, R.R., Allahverdiyeva, Z.G., & Asadov, T.B. (2015). [Quantitative relationships between various types of earthquake magnitudes in Azerbaijan] In *Zemletryaseniia Severnoi Evrazii, 2008 god* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2008] (pp. 480–487). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
15. Petrov, V.A., Bezmenova, L.V., Petrova, N.V., Lukash, N.A., & Levin, V.I. Catalog of focal mechanisms of Kopetdag earthquakes for 2013. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii, 2013 god* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2013], Appendix on CD. (In Russ.).
16. Mostrioukov, A.O., & Petrov, V.A. (1994). *Catalogue of focal mechanisms of earthquakes 1964–1990*. Materials of the World Data Center. Moscow, 87 p.
17. Ulomov, V., & Trifonov, V. (1997). Map of Lineament-Domain model of Seismic Source Zones. SHA – Caucasus test area. Retrieved from <http://static.seismo.ethz.ch/gshap/caucas/caucas.html>
18. Saryeva, G.Ch., Petrova, N.V., & Bezmenova, L.V. (2018). Kopetdag. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii, 2012 god* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2013], 21 (2012), 95–103.
19. Ulomov, V.I. (2003). A three-dimensional model of the lithosphere dynamics seismicity structure, and variations in the Caspian Sea level. *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, 39 (5), 353–364.

20. Gaipov, B.N., Petrova, N.V., Golinsky, G.L., Bezmenova, L.V., & Rakhimov, A.R. (2006). [Balkhan earthquake on December 6, 2000 with $MS=7.3$, $I_0=8-9$ (Kopetdag)]. In *Zemletryaseniia Severnoi Evrazii, 2000 god* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2000] (pp. 306–320). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
21. Borisov, V.A., & Rogozhin, E.A. (1984). [Kumdag earthquake on March 14, 1983: materials of geological study]. *Doklady akademii nauk SSSR*. [Transactions (Doklady) of the USSR Academy of Sciences. Earth Science Sections], 224 (4), 157–161.
22. Petrova, N.V., Annaorazova, T.A. (2012). [Stress condition and slip types in focal mechanisms of earthquakes of Kopetdag-Caspian region] In *Materialy XVIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Proceedings of XVIII International Scientific and Practical Conference] (pp. 260–264). Voronezh, Russia: Scientific Book Publ. (In Russ.).
23. Ambraseys N.N., Melville C.P. *A history of Persian earthquakes*. Cambridge: Cambridge University Press, 1982., 219 p.
24. Ekström, G., Nettles, M., & Dziewoński, A.M. (2012). The global CMT project 2004–2010: Centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 200, 1–9.
25. Petrova, N.V. (2016). [Kukh-Zar earthquake on August 27, 2010 with $K_p=13.8$, $M_w=5.8$, $I_0=7-8$ (Elburs region of Kopetdag)] In *Zemletryaseniia Severnoi Evrazii, 2010 god* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2010] (pp. 361–370.). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
26. Berberian, M. (1977). Historical seismicity (Pre 1900) map of Iran, Scale 1: 5000000. *Geol. Min. Surv. Iran*, 40, 279.
27. Rastsvetaev, L.M. (1980). [On the role of horizontal stress in formation of modern structure of Kopetdag]. In *Noveishie tektonicheskie dvizheniia i struktura al'piiskogo geosinklinal'nogo poiasa Iugo-Zapada Evrazii* [Modern tectonic movements and structure of the Alpine geosynclinal belt of the South-West of Eurasia] (pp. 138–144). Baku, Azerbaijan: Elm Publ. (In Russ.).
28. 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 *Zemletryaseniia Severnoi Evrazii, 1997 god* [Earthquakes in Northern Eurasia, 1997] (pp. 199–218). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).