

КОПЕТДАГ

Г. Ч. Сарыева¹, Н. В. Петрова², Л. В. Безменова¹¹Институт сейсмологии АН Туркменистана, г. Ашхабад, seismology@online.tm²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, npetrova@gsras.ru

Аннотация. В 2012 г. сеть сейсмических станций Туркменистана включала 20 аналоговых и 12 цифровых сейсмических станций, обеспечивая представительную регистрацию землетрясений на территории региона с $K_{3min}=9-10$. За год зарегистрировано 178 землетрясений с $K_p \geq 8.6$, для 61 события определены механизмы очагов. Общее число землетрясений Копетдага и сейсмическая активность A_{10} остались на уровне 2011 г., а суммарная сейсмическая энергия, выделившаяся в 2012 г. на территории региона, $\Sigma E = 17.65 \cdot 10^{12}$ Дж, увеличилась по сравнению с таковой в 2011 г. ($\Sigma E = 5.98 \cdot 10^{12}$ Дж), однако в целом осталась на фоновом уровне. Самое крупное в регионе сейсмическое событие года с $K_p = 13.1$ произошло 19 января в $12^{\text{h}}35^{\text{m}}$ в 3 км от иранского г. Нишапур, где оно ощущалось с интенсивностью 7 баллов по шкале Меркалли. В иранских городах Мешхед (65 км) и Кучан (100 км) отмечена интенсивность сотрясений 6 баллов, а в столице Туркменистана Ашхабаде (196 км) – 3 балла. Необычно высокая сейсмическая активность наблюдалась в районе туркменского г. Магтымгулы, в 15 км от которого 20 апреля произошел рой № 1 из 50 слабых землетрясений с $K_p = 5.4-9.3$, а в 30–80 км к западу и северо-западу зарегистрированы рои 8–9 сентября (рой № 2) и 1–2 октября (рой № 3) с максимальными событиями с $K_p = 11.0$ и $K_p = 11.7$ соответственно. Отмечено последовательное нарастание энергии роев № 1, № 2 и № 3, а также смена типа подвижки в очагах землетрясений в конце роевой последовательности № 3 – если при землетрясениях роя № 2 и на начальном этапе роя № 3 происходили подвижки взбросового типа, то три последних землетрясения роя № 3 имели сбросовый тип.

Abstract. In 2012, a network of seismic stations of Turkmenistan included 20 analog and 12 digital seismic stations, providing representative registration of earthquakes in the region with $K_{3min}=9-10$. During the year, 178 earthquakes with $K_p \geq 8.6$ were recorded, focal mechanisms were determined for 61 events. The total number of Kopetdag earthquakes and seismic activity A_{10} remained on the 2011 seismic activity level, and the total seismic energy released in 2012 in the region, $\Sigma E = 7.65 \cdot 10^{12}$ J, increased compared with that in 2011 ($\Sigma E = 5.98 \cdot 10^{12}$ J), but remained at the background level. The largest seismic event of the year with $K_p = 13.1$ occurred on January 19 at $12^{\text{h}}35^{\text{m}}$ 3 km from the Iranian city of Nishapur, where it was felt with the intensity of 7 according to the Mercalli scale. In the Iranian cities of Mashhad (65 km) and Kuchan (100 km), the seismic intensity was 6, and in the capital of Turkmenistan, Ashgabat (196 km) – 3. Unusually high seismic activity was observed in the area of the Turkmenian city of Magtymguly, 15 kilometers from which the swarm №1 consisting of 50 weak earthquakes with $K_p = 5.4-9.3$ occurred on April 20, and swarms of 8–9 September (swarm № 2) and October 1–2 (swarm № 3) with the maximum events of $K_p = 11.0$ and $K_p = 11.7$ respectively were registered. A consistent increase in swarms № 1, № 2 and № 3 energy, as well as a change in the type of movement in the earthquake foci at the end of the swarm sequence № 3 were noted. If during earthquakes of the swarm № 2 and at the initial stage of the swarm № 3 there were movements of an uplift type, then the last three earthquakes of the swarm № 3 had a normal fault motion type.

В 2012 г. сеть сейсмических станций Туркменистана не изменилась. Она включала 20 аналоговых сейсмических станций, цифровую станцию «Геокча» системы IRIS и 11 цифровых станций типа Дельта Геон Института сейсмологии АН Туркменистана и управления «Туркменгезлеггеофизика» [1]. В июне 2011 г. была закрыта станция «Оналды» типа Дельта Геон, что не отражено в [1]. Возможности представительной регистрации землетрясений на территории региона показаны на карте представительности K_{3min} (рис. 1), построенной с помощью подходов, описанных в [2]. Как и в 2009–2011 г., в Туркмено-Хорасанском и Центрально-Каракумском районах землетрясения регистрировались с представительного уровня $K_{3min}=8$, в Балхано-Каспийском районе – с $K_{3min}=8-9$, в Эльбурском районе и Восточном Туркменистане – с $K_{3min}=9-10$ (рис. 1, табл. 1).

Кинематические параметры землетрясений Копетдага определялись с помощью региональных блочных годографов [3], энергетический класс K_p – по палетке Т.Г. Раутиан [4], магнитуды M_{PVA} – согласно [5], макросейсмические характеристики ощутимых землетрясений – по региональному уравнению макросейсмического поля [6]. Полнота регистрации и правильность обработки записей землетрясений контролировались сопоставлением каталога землетрясений Копетдага [7] с международными каталогами и каталогами соседних стран [8–12]. Для

пропущенных землетрясений сформирован дополнительный каталог [13]. При этом для перевода в энергетический класс $K_{расч}$ приведенных в каталогах [8–10] магнитуд – MS_{MOS} , $MPSP_{MOS}$, Ms_{ISC} , m_b_{ISC} , ML_{THR} , Mn_{TEN} , MPV_{NNC} , m_b_{NNC} – использовались соотношения из [14–17].

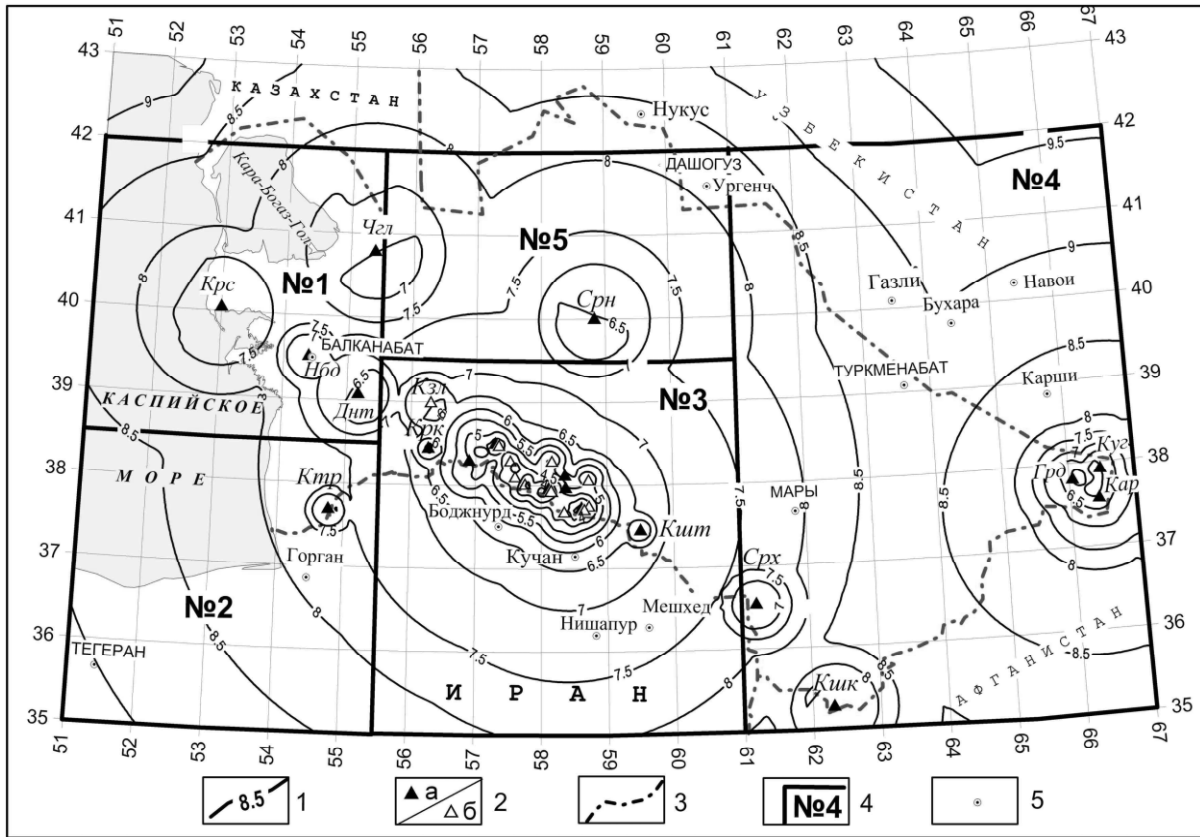


Рис. 1. Карта энергетической представительности землетрясений Копетдага K_{3min} по данным наблюдений в 2009–2012 гг., рассчитанная по методике [2]

1 – изолиния K_{3min} ; 2 – сейсмическая станция аналоговая (а) и цифровая (б) соответственно; 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 $K_{γmin}$ по районам

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

Для привлечения к анализу сейсмичности Копетдага каталогов соседних стран Средней Азии проведено сравнение энергетических классов землетрясений за период 1999–2010 гг. в каталогах Копетдага (на рис. 2 – $K_{КОР}$), Центральной Азии ($K_{СА}$) и Таджикистана ($K_{ТД}$), опубликованных в ежегодниках «Землетрясения Северной Евразии» за соответствующие годы. Установлено, что энергетические классы землетрясений в каталоге Копетдага в среднем на 0.4 ед. выше, чем классы этих землетрясений в каталоге Центральной Азии (рис. 2 а). Разницей в энергетических классах землетрясений в каталогах Копетдага и Таджикистана до 12-го энергетического класса можно пренебречь, но для сильных сейсмических событий порядка $K \div 14$ наблюдается превышение $K_{КОР}$ над $K_{ТД}$ примерно на 0.5 K (рис. 2 б).

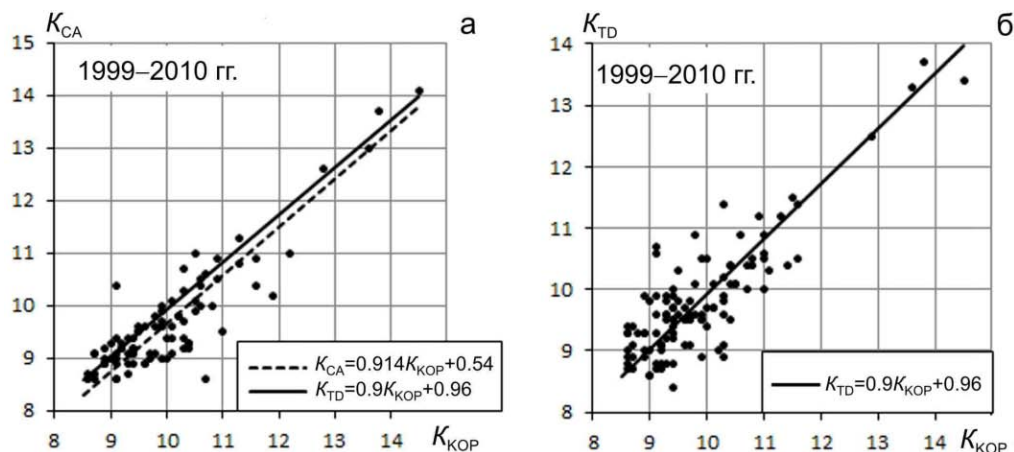


Рис. 2. Связь энергетического класса $K_{КОР}$ в каталогах Копетдага с таковыми в каталогах: а) Центральной Азии ($K_{СА}$); б) Таджикистана ($K_{ТД}$)

Соответствующие соотношения имеют вид:

$$K_{СА} = 0.914 K_{КОР} + 0.54 \quad (1)$$

$$K_{ТД} = 0.9 K_{КОР} + 0.96. \quad (2)$$

В каталоге землетрясений Копетдага [7] и на карте эпицентров землетрясений (рис. 3) представлены 178 землетрясений с $K_p \geq 8.6$, зарегистрированных сейсмическими станциями Туркменистана в 2012 г. На рис. 3 показаны также пять землетрясений из дополнительного каталога [13], который включает события из [8–10] с $K_{расч} \geq 8.6$, отсутствующие в [7].

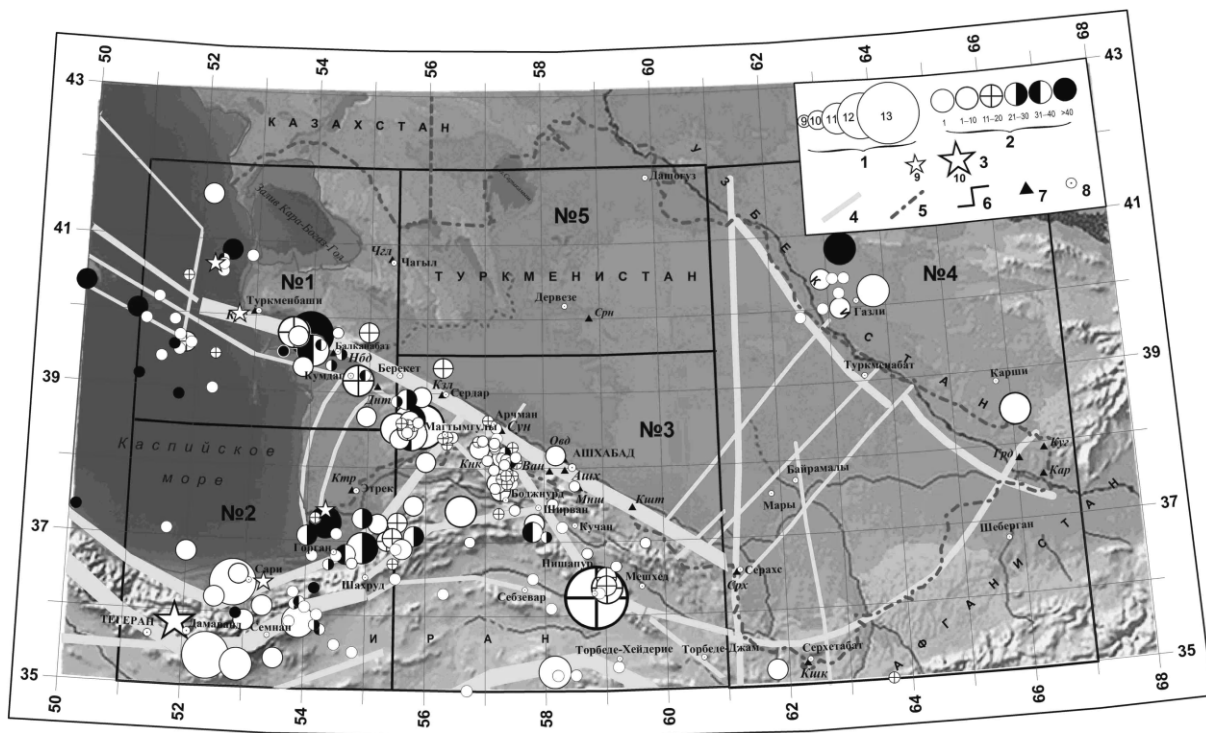


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений Копетдага за 2012 г.

1 – энергетический класс K_p землетрясений из основного каталога [7]; 2 – глубина гипоцентра h , км (0 – глубина не определена); 3 – эпицентры и энергетический класс K_p землетрясений из дополнительного каталога [13]; 4 – сейсмолинемент; 5 – граница Туркменистана; 6 – граница сейсмоактивного района; 7 – сейсмическая станция; 8 – город.

В табл. 2 представлены параметры сейсмического режима для всего региона и для отдельных сейсмоактивных районов, границы которых указаны в табл. 1.

Механизмы очагов 61 землетрясения Копетдага, представленные в [18] и на рис. 4, определены совместно сотрудниками Института сейсмологии АН Туркменистана и Геофизической обсерватории «Борок» (филиала ИФЗ РАН) по знакам первых вступлений *P*-волн на сейсмических станциях Туркменистана и станциях глобальной сети [8]. При решении фокальных механизмов использовались методические приемы, предложенные в [19].

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 2012 г.

№	Район	K_p						N_Σ	$\Sigma E, \cdot 10^{12} \text{ Дж}$	γ	A_{10}	ΔK^*
		8	9	10	11	12	13					
1	Балхано-Каспийский	66	26	7	3	1		103	0.88	0.46	0.055	8–12
2	Эльбурский	33	23	13	4	2		75	2.41	0.37	0.069	9–12
3	Туркмено-Хорасанский	165	54	21	6	1	1	248	14.08	0.48	0.073	8–13
4	Восточный Туркменистан	7	6	3	3			19	0.28			
	Копетдаг	271	109	44	16	4	1	445	17.65	0.51	0.038	9–13

Примечание. ΔK^* – диапазон энергетических классов графиков повторяемости для определения γ, A_{10} .

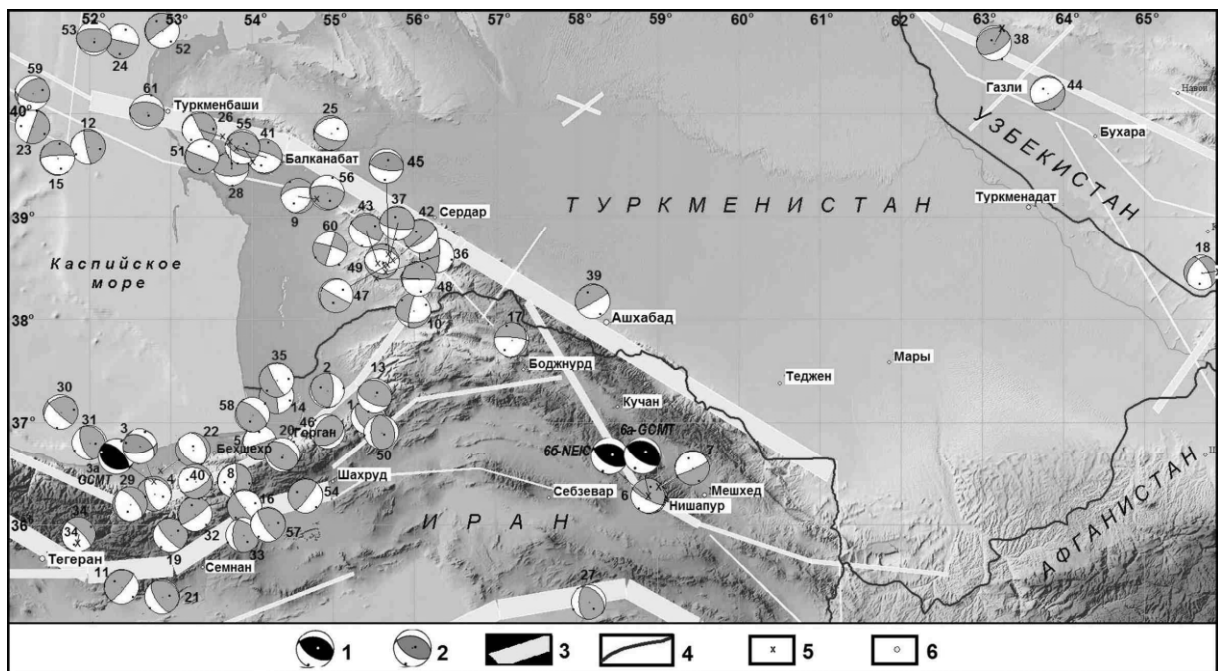


Рис. 4. Механизмы очагов землетрясений Копетдага в 2012 г.

1, 2 – диаграмма механизма очага в проекции нижней полусферы по данным международных служб GCMT, NEIC, приведены в [8], и Копетдага [18], соответственно, (затемнена область сжатия, номер соответствует номеру механизма очага в [18]; 3 – сейсмолинеament; 4 – государственная граница; 5 – эпицентр землетрясения, центр диаграммы механизма очага которого смещен относительно эпицентра; 6 – город.

Общее число землетрясений Копетдага N_Σ и сейсмическая активность A_{10} (табл. 2) остались на уровне таковых 2011 г. [20], хотя покласовое распределение изменилось в сторону повышения числа землетрясений старших классов с $K_p=11-13$ и понижения числа слабых событий с $K_p=9, 10$. Соответственно наклон графика повторяемости землетрясений уменьшился от необычайно высокого $\gamma=0.61$ в 2011 г. до среднего значения $\gamma=0.51$ за 20-летний предшествующий период (рис. 5). Выделившаяся в 2012 г. на территории региона суммарная сейсмическая энергия, равная $\Sigma E=17.65 \cdot 10^{12} \text{ Дж}$, почти в 3 раза увеличилась по сравнению с таковой в 2011 г. ($\Sigma E=5.98 \cdot 10^{12} \text{ Дж}$ [20]), однако в целом осталась на фоновом уровне (рис. 5).

В **Балхано-Каспийском районе (№ 1)** общее число зарегистрированных землетрясений существенно сократилось за счет слабых событий с $K_p=8, 9$. Число землетрясений с $K_p=10-12$

возросло незначительно, но возникновение северо-западнее г. Балканабат землетрясения 23 сентября в 13^h53^m с $K_p=11.8$ [7] вызвало увеличение выделившейся сейсмической энергии с $\Sigma E=0.35 \cdot 10^{12}$ Дж в 2011 г. до $\Sigma E=0.88 \cdot 10^{12}$ Дж – в 2012 г. Сейсмическая активность и наклон графика повторяемости землетрясений при этом уменьшились (с $A_{10}=0.58$, $\gamma=0.54$ в 2011 г. до $A_{10}=0.55$, $\gamma=0.46$ – в 2012 г.).

В целом сейсмичность на территории района № 1 в 2012 г. можно охарактеризовать как умеренную. Землетрясения располагались в основном в акватории Каспийского моря и на территории Прибалханского прогиба, между Кубадаг-Большебалханским и Прибалхано-Апшеронским сейсмолинеаментами запад–северо-западного простирания (рис. 3, 4). Севернее Кубадаг-Большебалханского блока отмечен дефицит землетрясений с $K_p > 9$.

Повышенной сейсмической активностью отличалась Моллакаринская очаговая зона, расположенная западнее г. Балканабат. Здесь 23 сентября в 13^h53^m произошло максимальное в районе № 1 землетрясение с $K_p=11.8$, которое ощущалось в пос. Джебел (37 км) с интенсивностью 3 балла, в Балканабате (55 км) – 2 балла. Согласно решению механизма очага (№ 41 на рис. 4), в очаге произошел сброс северного крыла крутого разрыва запад–северо-западного простирания, или горизонтальный сдвиг в южном направлении висячего крыла пологого субширотного разрыва.

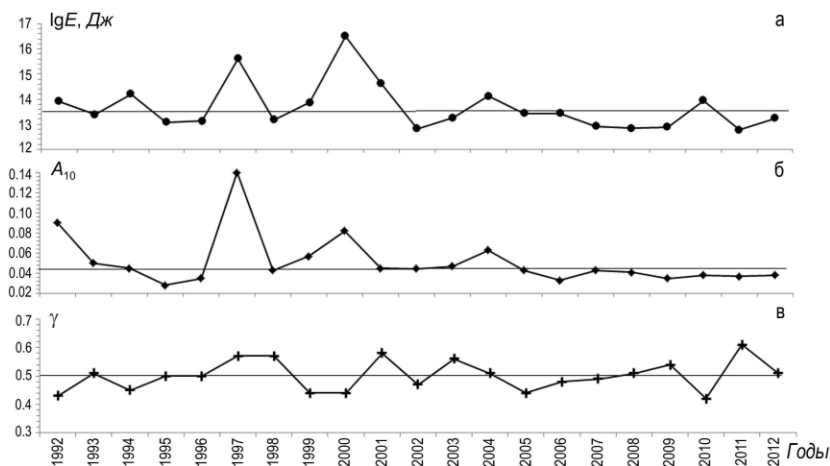


Рис. 5. Распределение выделившейся на территории Копетдага суммарной сейсмической энергии ΣE (а), сейсмической активности A_{10} (б) и наклона графика повторяемости γ (в)

Горизонтальными линиями показаны среднегодовые уровни параметров ΣE , A_{10} и γ без учета сейсмических активизаций в 1997 и 2000 гг., связанных с возникновением Боджнурдского [21] и Балханского [22] землетрясений.

На протяжении года в радиусе 50 км от эпицентра землетрясения 23 сентября произошло пять сейсмических событий с $K_p > 8.6$ – три предшествующих толчка, произошедшие 12 марта в 07^h42^m с $K_p=9.7$, 18 июля в 13^h35^m с $K_p=10.6$ (№ 26 на рис. 4) и 21 июля в 03^h37^m с $K_p=10.0$ (№ 28 на рис. 4), и два последующих события, зарегистрированные 25 октября с $K_p=8.8$ (№ 51 на рис. 4) и 6 декабря в 18^h28^m $K_p=10.9$ (№ 55 на рис. 4). Несмотря на кажущиеся различия механизмов очагов Моллакаринских землетрясений, выраженные в разнонаправленности движений по падению плоскостей разрывов, есть в них общая черта – все рассматриваемые землетрясения имеют пологую нодальную плоскость ($DP=9-31^\circ$), в большинстве случаев ориентированную субширотно, и во всех очагах, за исключением события 25 октября, висячее крыло пологого разрыва движется в южном или юго-западном направлении. Вероятно, поле тектонических напряжений на юго-западном склоне Большого Балхана в районе Моллакара действует таким образом, что вызывает горизонтальный сдвиг пластов Прибалханского прогиба в южном направлении.

В Эльбурском районе (№ 2) в 2012 г. существенно повысилось как число сейсмических событий всех энергетических классов ($N_\Sigma=75$ в 2012 г., $N_\Sigma=62$ – в 2011 г.), так и сейсмическая активность ($A_{10}=0.069$ – в 2012 г., $A_{10}=0.058$ – в 2011 г.). Выделившаяся сейсмическая энергия возросла до $\Sigma E=2.41 \cdot 10^{12}$ Дж по сравнению с таковой в 2011 г. ($\Sigma E=1.77 \cdot 10^{12}$ Дж [20]), а соотношение слабых и сильных землетрясений изменилось в пользу сильных ($\gamma=0.37$ по сравнению с $\gamma=0.46$ – в 2011 г.).

Самое крупное в районе № 2 землетрясение с $K_p=12.1$ произошло 11 января в 17^h08^m в 30 км к юго-западу от г. Сари (Иран). По данным NEIC [8, 23], землетрясение ощущалось в иранских городах Сари, Тегеран, Амоль, Баболь. Сведений об ощутимости этого землетрясения на территории Туркменистана в Службу Срочных Донесений Института сейсмологии АН

Туркменистана не поступало. Механизм очага, по данным КОП+ГО БОРОК [18] (№ 3 на рис. 4), представлял собой взброс с компонентами левого сдвига по крутой плоскости восток-северо-восточного простириания, или сдвига-надвиг по пологой плоскости северо-западного простириания. По данным GСMT [8] (№ 3 а на рис. 4), взброс или надвиг в очаге этого землетрясения произошли по плоскостям, ориентированным в направлении юго-восток – северо-запад, при менее значительных компонентах сдвига. Афтершоков представительного уровня данное землетрясение не имело.

Другое сильное ($K_p=11.9$) землетрясение произошло 10 февраля в 08^h59^m вблизи южной границы района № 2, между иранскими городами Тегеран и Семнан. В очаге реализовался взброс по крутой плоскости ($DP=79^\circ$) северо-восточного простириания или почти горизонтальный надвиг по пологой плоскости ($DP=11^\circ$) юго-западного простириания (№ 11 на рис. 4). Землетрясение ощущалось в Тегеране с интенсивностью 2 балла [23].

Вблизи туркмено-иранской границы наиболее значительным ($K_p=10.7$) было землетрясение 29 февраля в 13^h22^m (№ 14 на рис. 4). В очаге произошел сброс с компонентами левого сдвига западного крыла близвертикального меридионального разрыва (нодальная плоскость $NP1$) или сдвиг по пологой широтной плоскости ($NP2$). Сходный механизм очага имел более слабый толчок (№ 35 на рис. 4 из дополнительного каталога [13]), произошедший 4 сентября в 00^h18^m с $K_p=9.2$ вблизи эпицентра 29 февраля. Пологие широтные плоскости обоих событий идентичны, а крутая плоскость $NP1$ у события 4 сентября имеет юг-юго-восточное простириание ($STK=151^\circ$) в отличие от меридиональной у землетрясения 29 февраля. Учитывая приуроченность обоих событий к близмеридиональному Шахманскому или расположенному западнее параллельному ему Окаремскому сейсмолинеamentу (рис. 3), действующей в очагах обоих землетрясений следует считать крутую плоскость разрыва $NP1$, по которой реализовался сброс. Оба землетрясения произошли на больших глубинах (45 и 35 км), поэтому не ощущались в населенных пунктах Туркменистана и Ирана.

В очаговой зоне разрушительного Кух-Зарского землетрясения 27 августа 2010 г. с $K_p=13.8$, $M_w=5.8$ [24] в 2012 г. зарегистрировано лишь два толчка с $K_p=9$.

Среди других сейсмических событий Эльбурского района следует отметить два землетрясения, об осязительности которых имеются макросейсмические данные NEIC [23]. Первое из них произошло 27 июля в 08^h59^m с $K_p=10.0$ в акватории Каспия, вблизи его южного побережья, и ощущалось в иранских городах Ноушехр – 5 баллов, Тонкабон – 3 балла и Чалус – 2 балла.

Второе, не зарегистрированное сейсмическими станциями Туркменистана, землетрясение, включенное в дополнительный каталог [13], реализовалось 17 августа в 20^h31^m с $K_p=10.2$ в 43 км к северо-востоку от Тегерана и ощущалось в иранских городах Дамаванд (22 км) – 3 балла, Тегеран (44 км) – 2 балла.

В Туркмено-Хорасанском районе (№ 3) возросли сейсмическая активность и выделившаяся сейсмическая энергия с $A_{10}=0.069$ и $\Sigma E=3.7 \cdot 10^{12}$ Дж в 2011 г. до $A_{10}=0.073$ и $\Sigma E=14.08 \cdot 10^{12}$ Дж в 2012 г. Число землетрясений значительно увеличилось до $N_\Sigma=248$ в 2012 г. за счет слабых толчков с $K_p=8$.

Самое значительное в районе № 3 сейсмическое событие с $K_p=13.1$ зарегистрировано 19 января в 12^h35^m в 3 км от иранского города Нишапур, где оно ощущалось с интенсивностью 7 баллов по шкале Меркалли. В иранских городах Мешхед (65 км) и Кучан (100 км) отмечена интенсивность сотрясений 6 баллов, а в столице Туркменистана Ашхабаде (196 км) и приграничных населенных пунктах к югу от него – 3 балла. Согласно решениям механизма очага, по данным КОП+ГО БОРОК [18], GСMT и NEIC [8] (№ 6, 6 а и 6 б на рис. 4), в очаге произошел взброс по крутой плоскости юго-восточного простириания, совпадающего с ориентацией Гермабского разлома, к которому он приурочен, или надвиг по пологой плоскости северо-западного простириания с компонентами правого сдвига в решении [18].

Очаговая зона генерировала афтершоки в течение всего года, однако наиболее значительные события с $K_p=9.5-11.0$ зарегистрированы в течение 7 часов после основного толчка. Для самого крупного афтершока, произошедшего 19 января в 17^h42^m с $K_p=11.0$, определен механизм очага (№ 7 на рис. 4), который отличен от механизма очага главного события. В очаге произошел сброс по вертикальной плоскости северо-восточного простириания, секущей Гермабский разлом, или пологий сброс ($DP=9^\circ$) по плоскости юго-западного простириания.

Одной из самых сейсмоактивных зон на территории Туркменистана в районе № 3 в 2012 г. была зона, расположенная в месте сочленения Копетдаг-Большебалханского и Гермабского глу-

бинных разломов. Пространственно она вытянута субмеридионально между туркменским пос. Арчман и иранским г. Боджнурд (рис. 3). Здесь в течение года зарегистрировано большое количество слабых сейсмических событий с $K_p=3.0-9.5$, а также четыре землетрясения с $K_p=10$.

Необычно высокая сейсмическая активность наблюдалась в районе туркменского г. Магтымгулы (рис. 3), в 15 км от которого 20 апреля произошел рой № 1 из 50 слабых землетрясений с $K_p=5.4-9.3$ (рой № 1), а в 30–80 км к западу и северо-западу зарегистрировано 16 землетрясений с $K_p=9-12$, большинство из которых входили в состав роевых последовательностей 8–9 сентября и 1–2 октября (рои № 2 и № 3 на рис. 6). Рой № 2 включал три события с $K_p=9$ и по одному с $K_p=10$ и 11, а в состав роя № 3 вошли одно событие с $K_p=9$, по два – с $K_p=10$ и 11, а максимальный толчок в рое имел энергию $E=5.01 \cdot 10^{11}$ Дж. Таким образом, энергия роев землетрясений в районе г. Магтымгулы нарастала в течение года.

Некоторые толчки ощущались в ближайших населенных пунктах с интенсивностью 2 балла. Так, предвещающее возникновение роев в районе г. Магтымгулы землетрясение 9 февраля в 04^h00^m с $K_p=10.4$ ощущалось в гг. Сердар (32 км) и Берекет (47 км), а роевые землетрясения 9 сентября в 06^h46^m с $K_p=10.5$ и 1 октября в 08^h53^m с $K_p=11.7$ – в гг. Магтымгулы и Сердар.

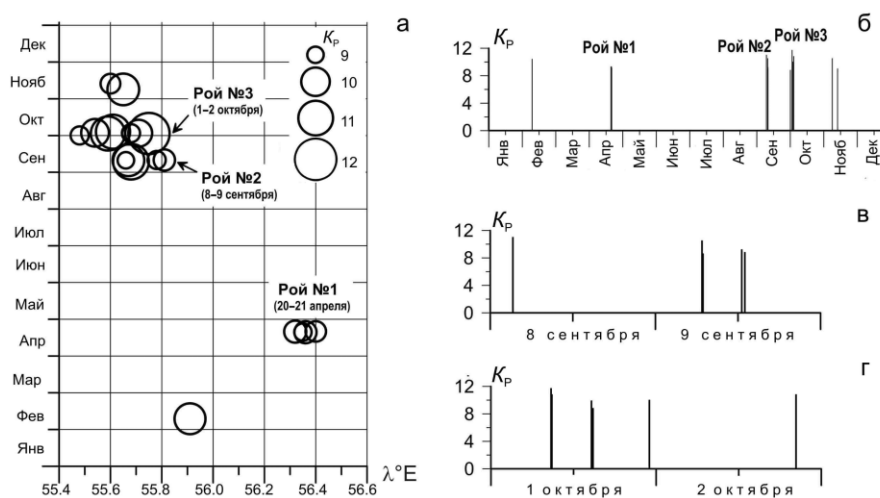


Рис. 6. Пространственно-временное распределение землетрясений с $K_p \geq 8.6$ в районе г. Магтымгулы с координатами: $\Delta\varphi=38.2-39$, $\Delta\lambda=55.5-56.5$ (а) и темпы выделения сейсмической энергии ($K_p=\lg E$) в этом же районе в течение 2012 г. (б) и в роевых последовательностях № 2 (в) и № 3 (г)

Для семи землетрясений в районе г. Магтымгулы, входящих в состав роевых последовательностей № 2 и № 3, определены механизмы очагов.

При максимальном событии в рое № 2, 8 сентября в 03^h17^m с $K_p=11.0$, произошел взброс по крутой меридиональной плоскости или пологий надвиг с компонентами правого сдвига по плоскости юго-западного простираения при действующем в очаге субширотном сжатии (№ 36 на рис. 4), нетипичном для Копетдагского региона. Второе крупное событие роя, 9 сентября в 06^h46^m с $K_p=10.5$, генерировало сходную подвижку, но по субширотной плоскости (№ 36 на рис. 4), в условиях обычного для региона субмеридионального сжатия (№ 37 на рис. 4).

В очаге максимального события в рое № 3, произошедшего 1 октября в 08^h43^m с $K_p=11.7$ (№ 42 на рис. 4), превалировало юго-восточное сжатие, в отличие от регионального северо-восточного или меридионального сжатия [25, 26]. Однако северо-западное – юго-восточное сжатие часто наблюдается в очагах землетрясений на границах Южно-Каспийской впадины, вблизи которой зарегистрированы рои № 2 и № 3, что объясняется искажающим влиянием последней на региональное поле напряжений [27, 28]. В этих условиях в очаге землетрясения № 42 реализовался взброс по плоскости северо-восточного простираения или пологий надвиг по субширотной плоскости.

Следующее событие в рое № 3 с $K_p=10.8$, произошедшее через 8 минут после максимального толчка (№ 43 на рис. 4), имело механизм очага, сходный с таковым для второго события в рое № 2, зарегистрированным 9 сентября (№ 37 на рис. 4). Но для него отмечен небольшой разворот возможных плоскостей разрыва по часовой стрелке – взброс по крутой плоскости юго-восточного простираения или пологий сдвиг-надвиг по субширотной плоскости.

Субширотную ориентацию возможных плоскостей разрыва и сходный с предыдущими роевыми землетрясениями тип подвижки – взброс по крутой или надвиг по пологой плоскости – имело и событие в рое № 3, зарегистрированное 1 октября в 14^h36^m с $K_p=9.9$ (№ 45 на рис. 4).

Механизмы очагов трех следующих событий (№№ 47–49) в рое № 3 отличаются от описанных выше преобладанием сбросовой компоненты подвижки. При землетрясении 1 октября в 19^h51^m с $K_p=9.4$ (№ 47 на рис. 4) произошел сброс по вертикальной плоскости юго-восточного простирания или горизонтальный сдвиг с незначительной сбросовой компонентой по плоскости юго-западного простирания. При землетрясении 1 октября в 23^h01^m с $K_p=10.0$ (№ 48 на рис. 4) реализовался сброс по вертикальной субширотной плоскости или горизонтальный сдвиг с незначительной сбросовой компонентой по пологой меридиональной плоскости. И, наконец, подвижка в очаге землетрясения 2 октября в 20^h19^m с $K_p=10.8$ (№ 49 на рис. 4) представляла сброс по субширотной плоскости с промежуточным падением ($DP=43, 47$) на север или юг.

Среди других сейсмических событий Туркмено-Хорасанского района следует выделить землетрясение 22 сентября в 12^h27^m с $K_p=10.2$ в 27 км к северо-западу от г. Ашхабад. Оно ощущалось в столице Туркменистана и имело большое количество афтершоков с энергетическими классами $K_p < 8.6$. Только за два дня после него было зарегистрировано 19 афтершоков.

В Восточном Туркменистане (№ 4) выделенная сейсмическая энергия, равная $\Sigma E = 0.28 \cdot 10^{12}$ Дж, выше ее величины ($\Sigma E = 0.15 \cdot 10^{12}$ Дж) в 2011 г. [20] Это связано с увеличением числа землетрясений с $K_p=11$ ($N=1$ – в 2011 г., $N=3$ – в 2012 г.).

Сейсмичность на территории района № 4 была сосредоточена в 2012 г. за пределами Туркменистана. Наибольшая сейсмическая активность отмечена в районе г. Газли на территории Узбекистана, где сетью сейсмических станций Туркменистана зарегистрировано восемь землетрясений с $K_p=9–11$, включая два землетрясения с $K_p=11$.

Л и т е р а т у р а

1. Сарыева Г.Ч., Петрова Н.В., Безменова Л.В. (сост.). Сейсмические станции Копетдага и их параметры в 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – 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. Рахимов А.Р., Славина Л.Б. Региональный годограф Копетдагской сейсмической зоны // Известия 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. Сарыева Г.Ч. (отв. сост.), Тачов Б., Халлаева А.Т., Клочков А.В., Дурасова И.А., Эсенова А., Петрова Н.В., Мустафаев Н.С., Безменова Л.В. (сост.). Каталог землетрясений Копетдага за 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD_ROM.
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 [Сайт]. – 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., Керимова Р.Д., Мамедова М.К., Абдуллаева Э.Г., Саидова Г.Е., Исламова Ш.К. (сост.). Каталог землетрясений Азербайджана с $K_p \geq 9.0$ в государственных границах +30 км за 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD_ROM.
11. Улубиева Т.Р. (отв. сост.), Рислинг Л.И., Михайлова Р.С., Нилобекова З.Г., Маматкулова З.С., Дмитриева Т.Н., Кутузова А.П., Валяевская Т.Н. (сост.). Каталог землетрясений Таджикистана за 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD_ROM.

12. Фролова А.Г., Берёзина А.В., Шукурова Р. (по региону), Соколова Н.П. (по Кыргызстану), Гесель М.О. (по Казахстану), Михайлова Н.Н. (по Казахстану), Тулаганова М.Т. (по Узбекистану) (отв. сост.), Молдобекова С., Першина Е.В., Афонина Л.Р., Неверова Н.П., Проскурина Л.П., Далебаева Ж., Досайбекова С.К., Проскурина А.В., Мукамбаев А.С., Бастанов А.Ш., Узбеков Р., Сейнасинов Н., Рябенко О.В., Бектурганова Б.Б., Содикова Н.М., Кучкарова К.И. (сост.). Каталог землетрясений Центральной Азии за 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD_ROM.
13. Петрова Н.В., Безменова Л.В., Левина В.И. (сост.). Дополнительный список землетрясений, не вошедших в основной каталог землетрясений Копетдага за 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD_ROM.
14. 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.
15. 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.
16. Петрова Н.В., Сарыева Г.Ч. Сравнительный анализ параметров землетрясений Копетдага в каталогах стран Средней Азии и ISC. // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XII Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 269–273.
17. 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.
18. Петров В.А., Безменова Л.В. (отв. сост.), Петрова Н.В. (сост.). Каталог механизмов очагов землетрясений Копетдага за 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD_ROM.
19. Мострюков А.О., Петров В.А. Каталог механизмов очагов землетрясений, 1964–1990 // Материалы мирового центра данных. – М.: 1994. – 87 с.
20. Сарыева Г.Ч., Петрова Н.В., Безменова Л.В. Копетдаг // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ГС РАН, 2017. – С. 87–96.
21. 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.
22. 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.
23. National Earthquake Information Center, Geological Survey, Denver. USA [Сайт]. – URL: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/>
24. 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.
25. Широкова Е.И. Общие закономерности в ориентации главных напряжений в очагах землетрясений Средиземноморско-Азиатского сейсмического пояса // Изв. АН СССР. – Сер. геофизическая. – № 1. – М.: Наука, 1967. – С. 22–36.
26. 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.
27. 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.
28. Jackson J., Priestley K., Allen M. and Berberian M. Active tectonics of the South Caspian Basin // Geophys. J. Int. – 2002. – 148. – P. 214–245.