

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

В 2011 г. состав и аппаратное оснащение сети сейсмических станций Туркменистана не претерпели изменений – сеть включала 20 аналоговых сейсмических станций, цифровую станцию «Геокча» системы IRIS и 12 цифровых станций типа Дельта Геон Института сейсмологии АН Туркменистана и управления «Туркменгезлегеофизика» [1]. Станция «Кизил-Арват» типа Дельта Геон, остановленная в июле 2010 г. из-за высокого уровня помех, была вновь запущена в феврале 2011 г. В результате на территории Туркмено-Хорасанского района Копетдагского региона была обеспечена представительная регистрация землетрясений с $K_{3\min}=8$ и выше, в Балхано-Каспийском и Центрально-Каракумском районах – с $K_{3\min}=8-9$, в Эльбурском и Восточном Туркменистане – с $K_{3\min}=9-10$ (табл. 1).

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 км^2	$K_{3\min}$	$K_{\gamma\min}$
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	9–10	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	8–9	
	КОПЕТДАГ	35.0–42.0	51.0–67.0	1082	9–10	9

Кинематические параметры зарегистрированных землетрясений определялись с помощью региональных блочных годографов [2], энергетический класс K_p – по палетке Т.Г. Раутиан [3], магнитуды $MPVA$ – согласно [4], макросейсмические характеристики ощутимых землетрясений – по региональному уравнению макросейсмического поля [5]. Полнота регистрации и правильность обработки записей землетрясений контролировались сопоставлением каталога землетрясений Копетдага [6] с международными каталогами [7, 8]. При этом для перевода в энергетический класс $K_{\text{расч}}$ приведенных в [7, 8] магнитуд по данным разных сейсмологических центров – $MS_{(\text{MOS})}$, $MPSP_{(\text{MOS})}$, $MS_{(\text{ISC})}$, $m_b(\text{ISC})$, $ML_{(\text{THR})}$, $Mn_{(\text{ТЕН})}$, $ML_{(\text{AZ})}$ – использовались соотношения из [9, 10, 11].

На карте эпицентров землетрясений Копетдага (рис. 1) представлены 190 землетрясений с $K_p \geq 8.6$ из основного каталога [6] по данным сейсмических станций Туркменистана плюс 29 землетрясений из дополнительного каталога [12], который содержит отсутствующие в основном каталоге [6] землетрясения из [7, 8] с $K_{\text{расч}} \geq 8.6$, а также события с $K_p < 8.6$, для которых удалось определить механизм очага [13]. Для двух землетрясений с $K_p = 8.1$ из дополнительного каталога [12], которые попали туда из-за того, что их энергетический класс K_p оказался ниже предельного для основного каталога ($K_p \geq 8.6$), но механизм очага удалось определить [13], в [12] приведен также расчетный энергетический класс $K_{\text{расч}}$, но окончательным при анализе сейсмичности принимался K_p по данным сети станций Туркменистана.

В табл. 2 для всего региона и отдельных сейсмоактивных районов представлены два варианта параметров сейсмического режима: в числителе – параметры землетрясений по данным сейсмической службы Туркменистана [6], в знаменателе – землетрясений из основного [6] и дополнительного [12] каталогов. Сейсмические события, произошедшие вне границ Копетдагского региона (табл. 1), в расчетах параметров сейсмического режима не участвовали.

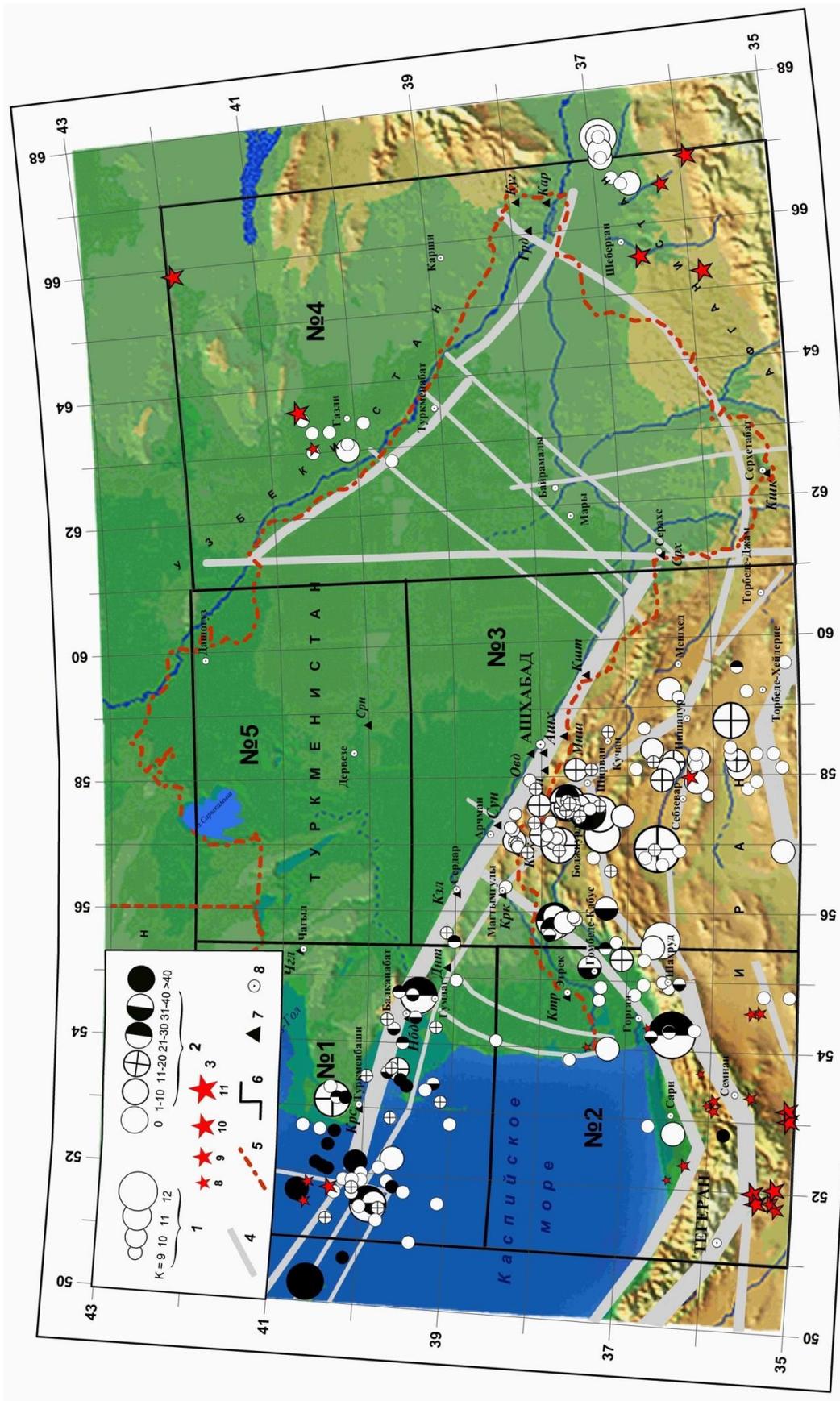


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Копетдага в 2011 г.

1 – энергетический класс K_p землетрясений из основного каталога [6]; 2 – глубина гипоцентра h , км (0 – глубина не определена); 3 – эпицентры и энергетический класс K_p землетрясений из дополнительного каталога [12]; 4 – сейсмолинеament; 5 – граница Туркменистана; 6 – граница Туркменистана; 7 – сейсмолинеament; 8 – город.

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 2011 г.

№	Район	K_p							N_Σ	$\Sigma E, 10^{12} \text{ Дж}$	γ	A_{10}	ΔK
		8	9	10	11	12	13	14					
1	Балхано-Каспийский	84	49	5	3				141	0.348	0.53	0.057	8–11
		84	51	5	3				143	0.350	0.54	0.058	
2	Эльбурский	25	17	5		1			48	1.688	0.40	0.038	9–12
		27	23	11		1			62	1.771	0.46	0.058	
3	Туркмено-Хорасанский	136	53	23	8	1			221	3.703	0.51	0.069	8–12
		136	54	23	8	1			222	3.705	0.51	0.069	
4	Восточный Туркменистан	4	11	3					18	0.047			9–11
		4	12	8	1				25	0.151	0.54	0.011	
	Копетдаг	249	130	36	11	2			428	5.786	0.60	0.033	9–12
		251	140	47	12	2			452	5.978	0.61	0.037	

Примечание. В числителе указаны параметры по данным сейсмической службы Туркменистана [6], в знаменателе – по всем имеющимся данным [6, 12]; ΔK – диапазон энергетических классов графиков повторяемости для определения γ, A_{10} .

Механизмы очагов 63 землетрясений Копетдага, представленные в [13, 14] и на рис. 2, определены совместно сотрудниками Института сейсмологии АН Туркменистана и филиала ИФЗ РАН Геофизической обсерватории «Борок» по знакам первых вступлений P -волн на сейсмических станциях Туркменистана и станциях глобальной сети [7]. При решении фокальных механизмов использовались методические приемы, предложенные в [15].

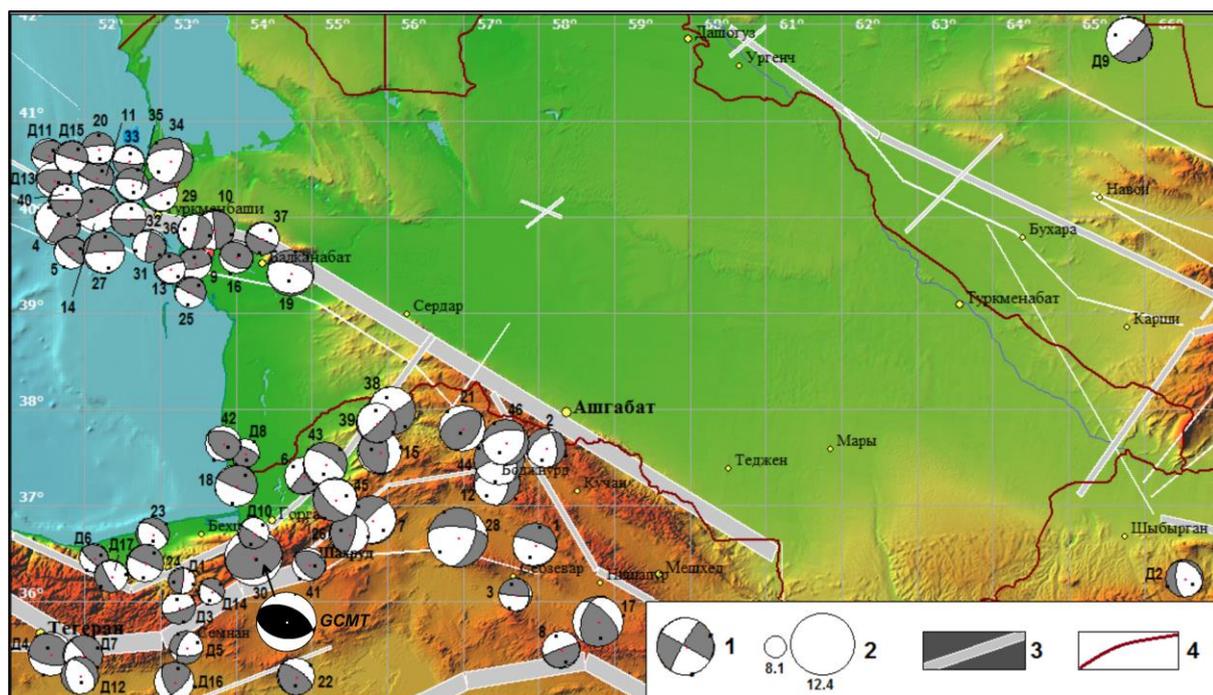


Рис. 2. Механизмы очагов землетрясений Копетдага в 2011 г.

1 – стереограмма механизма очага в проекции нижней полусферы (зачернена область сжатия, номер соответствует номеру механизма очага в [13, 14]); 2 – K_p (без округления до целых классов); 3 – сейсмолинеament; 4 – государственная граница.

Общее число зарегистрированных в 2011 г. землетрясений Копетдага с $K_p \geq 8$, равное $N_\Sigma = 428$, достигло минимальной годовой величины за последние 15 лет. В период 1992–2011 гг. более низкие значения суммарного числа зарегистрированных за год землетрясений Копетдага наблюдались лишь в 1995 г. ($N_\Sigma = 376$) и 1996 г. ($N_\Sigma = 384$), во время сейсмического затишья перед

Боджнурдским землетрясением 4 февраля 1997 г. с $M_S=6.6$ [16]. Сейсмическая активность в единицах A_{10} в 2011 г., равная $A_{10}=0.037$, осталась на уровне двух предыдущих лет (рис. 3), немного пониженном по сравнению со среднегодовым значением $A_{10\text{cp}}=0.045$ за период 1992–2011 гг. Выделившаяся в 2011 г. на территории региона суммарная сейсмическая энергия $\Sigma E=5.98 \cdot 10^{12}$ Дж, после ее повышения в 2010 г. ($\Sigma E=88.92 \cdot 10^{12}$ Дж [17]) в связи с возникновением Кух-Зарского землетрясения 27.08.2010 г. с $M_w=5.8$ [18], вернулась к пониженному уровню 2007–2009 гг. (рис. 3). При этом наклон графика повторяемости землетрясений в 2011 г. с $\gamma=0.61$, по сравнению с $\gamma=0.42$ в 2010 г., существенно возрос и достиг максимального за 20 лет значения (рис. 3), свидетельствуя об изменении соотношения числа слабых и сильных землетрясений в пользу слабых.

По сравнению с числами сильных землетрясений в 2010 г. (пятью землетрясениями с $K_p=12$, двумя – с $K_p=13$ и одним – с $K_p=14$ [17]), в 2011 г. на территории Копетдагского региона зарегистрировано лишь два сейсмических события с $K_p=12$. Одно из них произошло 26 июля в 04^h04^m с $K_p=12.4$ на территории Туркмено-Хорасанского района, в 75 км к северо-западу от иранского г. Себзевар. Второе произошло 11 августа в 22^h32^m с $K_p=12.2$ в Эльбурском районе, южнее иранского г. Горган (рис. 1).

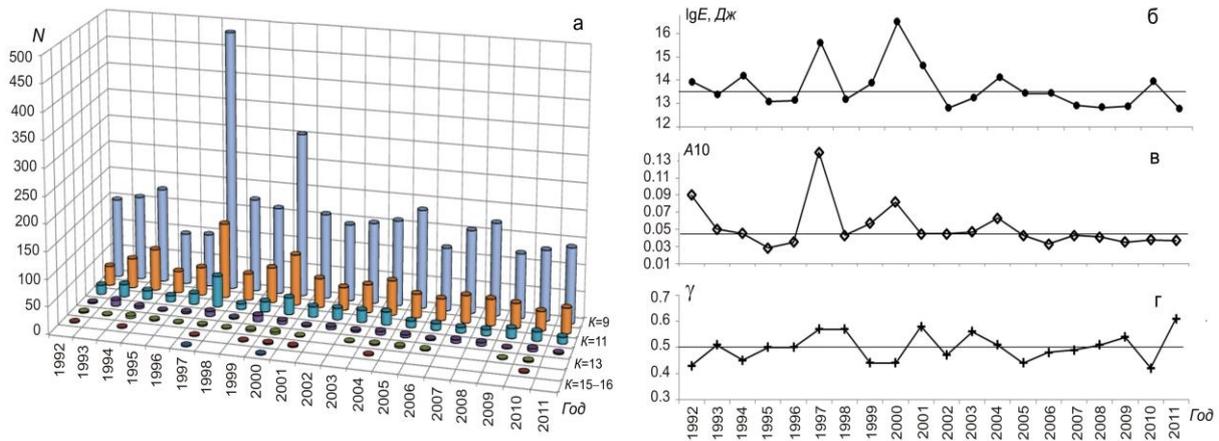


Рис. 3. Распределение по годам и энергетическим классам числа землетрясений N_z (а), суммарной сейсмической энергии на территории Копетдага ΣE (б), сейсмической активности A_{10} (в) и наклона графика повторяемости γ (г)

Горизонтальной линией на графиках б, в, г показан среднегодовой уровень параметров ΣE , A_{10} и γ , рассчитанный без учета сейсмических активизаций в 1997 и 2000 гг., связанных с возникновением Боджнурдского [16] и Балханского [19] землетрясений.

На территории **Балхано-Каспийского района (№ 1)** наблюдались те же тенденции изменения параметров сейсмического режима, что и по Копетдагу в целом. Выделившаяся в 2011 г. в районе № 1 сейсмическая энергия $\Sigma E=0.35 \cdot 10^{12}$ Дж понизилась, по сравнению с таковой в 2010 г. ($\Sigma E=1.614 \cdot 10^{12}$ Дж), при неизменной сейсмической активности. При этом в 2011 г. почти вдвое увеличилось число землетрясений с $K_p=9$, однако число землетрясений с $K_p=10$ не изменилось. Таким образом, отмеченный в [17] дефицит землетрясений с $K_p=10$ так и не восполнился. Максимальный энергетический класс в районе № 1 составил $K_p=11$ (для трех толчков), тогда как в 2010 г. на этой же территории произошло три сейсмических события с $K_p=11$ и два – с $K_p=12$. Эти изменения числа слабых и сильных землетрясений привели к существенному увеличению наклона графика повторяемости до $\gamma=0.54$, по сравнению с $\gamma=0.41$ – в 2010 г.

Первый из трех максимальных сейсмических толчков в районе № 1 произошел 4 февраля в 21^h41^m с $K_p=10.9$ в акватории Каспийского моря, в пределах 6-балльной изосейсты Каспийского землетрясения 16.09.1989 г. с $M_S=6.3$ [19]. Механизм его очага (рис. 4 а) представлял собой правосторонний сдвиг по пологой ($DP=28^\circ$) плоскости разрыва юго-восточного простирания ($NP1$) с движением висячего юго-западного крыла на северо-запад или сброс с компонентой левостороннего сдвига с опусканием восточного крыла вертикального разрыва север-северо-восточного простирания ($NP2$). Подвижка произошла в условиях широтного растяжения

и северо-западного сжатия с промежуточным наклоном осей растяжения и сжатия ($PL=38-39^\circ$) к горизонту.

В очагах других Каспийских землетрясений происходили в основном подвижки по паде-нию – взбросы, надвиги и сбросы (рис. 2 и 5).

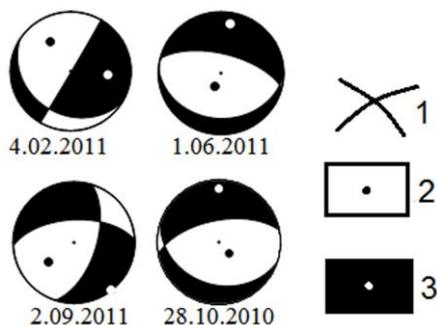


Рис. 4. Стереогаммы механизмов очагов в проекции нижней полусферы землетрясений Балхано-Каспийского района: 4 февраля 2011 г. в 21^h41^m с $K_p=10.9$, 1 июня 2011 г. в 10^h23^m с $K_p=10.9$, 2 сентября 2011 г. в 17^h14^m с $K_p=10.8$ и 28 октября 2010 г. в 23^h48^m с $K_p=8.9$, стереогамма которого приведена для сравнения с таковой для события 1 июня

1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений сжатия и растяжения; зачернены области сжатия.

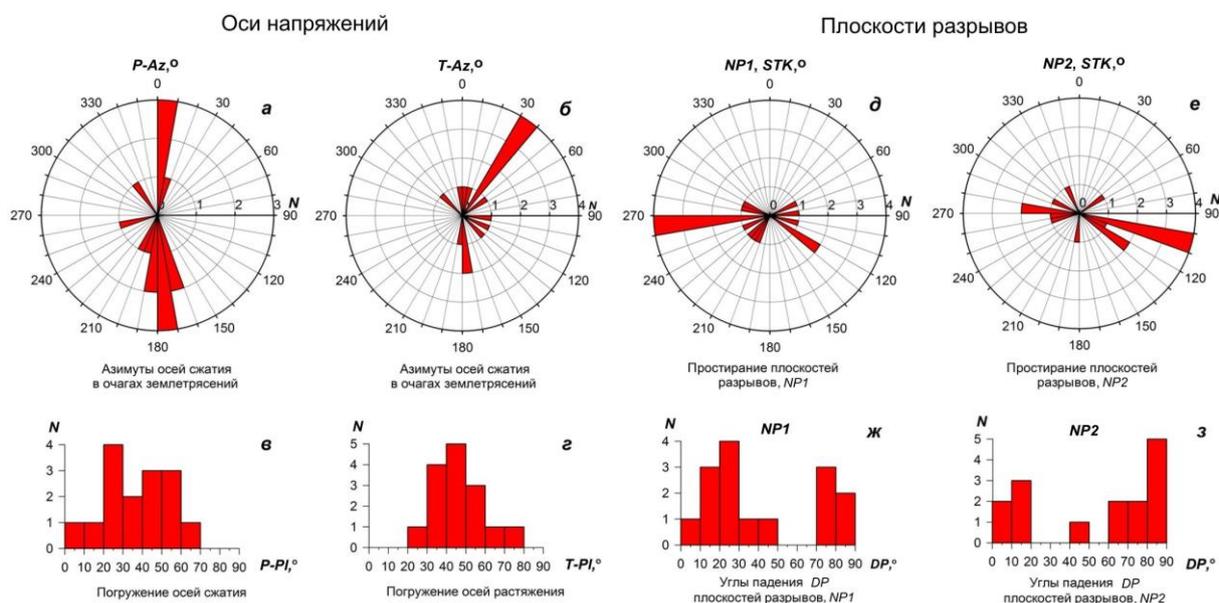


Рис. 5. Распределение числа землетрясений, для которых определены механизмы очагов, по интервалам азимутов Az (а, б), углов наклона Pl (в, г) осей напряжений сжатия P и растяжения T , простирания STK (д, е) и падения (ж, з) плоскостей разрывов в очагах Каспийских землетрясений

В очагах 16-ти землетрясений Каспийской очаговой зоны в 2011 г. действовали преимущественно напряжения субмеридионального сжатия (рис. 5 а) и более хаотичного, но в большинстве случаев северо-восточного или меридионального растяжения (рис. 5 б). В отличие от преимущественно горизонтального сжатия и растяжения для Копетдага в целом [21, 22, 23] и горизонтального растяжения и вертикального сжатия для Каспийской очаговой зоны, обусловившего преобладание здесь сбросов [23, 24], в очагах Каспийских землетрясений в 2011 г. преобладали промежуточные углы погружения осей сжатия ($PL_p=20-60^\circ$) и растяжения ($PL_r=30-60^\circ$) (рис. 5 в, г). В этих условиях разрывы происходили в основном по плоскостям субширотного простирания (рис. 5 д, е), параллельным сейсмолинеаментам в Каспийском море запад–северо-западной ориентации. Как видно из рис. 5 ж, з, среди углов падения плоскостей разрывов почти нет промежуточных, т.е., если по одной из нодальных плоскостей решение механизма очага содержит вертикальную плоскость, то другая нодальная плоскость – пологая. Среди подвижек по 32-м возможным плоскостям разрывов 30 % подвижек составляли взбросы и надвиги, 23 % – сбросы и 47 % – движения по падению пологих плоскостей разрывов, с небольшими компонентами сдвига по простиранию. За год здесь не произошло ни одного сдвига по крутым плоскостям разрыва.

Большинство подвижек по падающим на север пологим субширотным плоскостям разрывов содержит компоненты надвига висячего, или поддвига лежачего крыла разрыва (№№ 5, 11, 14, 25, Д11, Д15 на рис. 2), что поддерживает гипотезу о начале процесса субдукции Южно-Каспийского бассейна под центральный Каспий в районе Балхано-Апшеронского порога [23], а компоненты сброса южного крыла падающих на юг плоскостей пологих разрывов (№№ 13, 27, 35 на рис. 2) могут быть связаны с обусловленным этим процессом изгибом Южно-Каспийской литосферы, аналогичным изгибу на внешних поднятиях океанских впадин.

На другом сейсмоактивном участке района № 1, в очаговой зоне Балханского землетрясения 06.12.2000 г. с $MS=7.3$ [20], 1 июня 2011 г. в 10^h23^m произошло землетрясение с $K_p=10.9$, которое ощущалось в г. Балканабат ($\Delta=25$ км) с интенсивностью $I_t=2-3$ балла [6]. По данным [7], его ощутили также жители г. Туркменбаши, расположенного в 165 км к западу от эпицентра. В течение первой половины года этому землетрясению предшествовали четыре сейсмических толчка с $K_p=7$, один с $K_p=8$ и один с $K_p=9$, зарегистрированный 20 мая в 09^h42^m [6]. Афтершоков это землетрясение практически не имело, т.к. в радиусе 25 км от его эпицентра до конца года произошло лишь два толчка с $K_p=7$ и два – с $K_p=8$. Согласно решению механизма очага [14], в очаге землетрясения 1 июня произошел сброс по субширотной плоскости (рис. 4 б) с опусканием северного крыла крутого разрыва ($NP1$) или южного крыла пологого разрыва ($NP2$). Такой тип механизма очага не типичен для основного толчка и афтершоков Балханского землетрясения 06.12.2000 г. [20], в очагах которых преобладали взбросовые и надвиговые компоненты. Возможно, это различие связано с чуть более южным по сравнению с эпицентром Балханского землетрясения положением эпицентра землетрясения 1 июня, в месте возникновения которого, согласно рис. 4 б, преобладали субгоризонтальное меридиональное растяжение и субвертикальное сжатие. Такие же напряжения, связанные, вероятно, с процессом опускания Южно-Каспийской впадины, действовали и в очаге небольшого сейсмического толчка, произошедшего 28.10.2010 г. в 23^h48^m с $K_p=9$ [25] в 15 км к юго-западу от эпицентра 1 июня 2011 г. (рис. 4 г). Механизмы очагов обоих событий практически идентичны.

Еще одно заметное ($K_p=10.8$) землетрясение произошло 2 сентября в 17^h14^m [kat-2011] в структурах Кубадагского шовно-глыбового поднятия, в 40 км к северу от г. Туркменбаши. По данным ISC [7], оно ощущалось в этом населенном пункте, однако интенсивность сотрясений не указана. Землетрясению предшествовали с начала года три толчка с $K_p=7$, один – с $K_p=8$ и три – с $K_p=9$. Как и в очаге землетрясения 1 июня в 10^h23^m , локализованного в пределах расположенной восточнее Кубадага Большебалханской мегантиклинали, афтершоковый процесс землетрясения 2 сентября был слабым и проявился до конца года лишь двумя афтершоками с $K_p=7$, что свидетельствует о консолидированности земной коры в пределах горных структур Большого Балхана и Кубадага, сформированных на южном окончании Туранской плиты. Согласно решению механизма очага, в очаге этого землетрясения реализовался левый сбросо-сдвиг по широтной плоскости, или правый сбросо-сдвиг – по близмеридиональной (рис. 4) с опусканием северного или восточного крыла разрыва соответственно.

В Эльбурском районе (№ 2) в 2011 г. уменьшилось как число землетрясений всех энергетических классов, так и выделившаяся сейсмическая энергия до уровня $\Sigma E=1.77 \cdot 10^{12}$ Дж, по сравнению с $\Sigma E=7 \cdot 10^{13}$ Дж – в 2010 г. [16]). Сейсмическая активность изменилась незначительно ($A_{10}=0.058$ в 2011 г., $A_{10}=0.061$ в 2010 г.), тогда как соотношение слабых и сильных землетрясений изменилось в пользу слабых ($\gamma=0.46$ по сравнению с $\gamma=0.38$ в 2010 г.).

В начале года повышенная сейсмическая активность наблюдалась на юго-западе района № 2, южнее акватории Каспийского моря. Этот участок недоступен для надежной регистрации землетрясений с $K_p \leq 9$ сейсмическими станциями Туркменистана, ближайшая из которых, «Кизыл-Атрек» с $V_{\max}=5000$, расположена в 250 км от г. Семнан и в 350 км – от столицы Ирана г. Тегеран (рис. 1). Поэтому параметры большинства сейсмических событий на этом участке, показанных на рис. 1 звездочкой, извлечены из каталогов [7, 8] и включены в дополнительный каталог [12].

20 февраля в 11^h22^m в 67 км к востоку от г. Тегеран произошло землетрясение с $K_p=10.5$, которое, по данным [7], ощущалось в столице Ирана. В очаге произошел взброс с компонентами левого сдвига по субширотной плоскости, или надвиг с компонентами правого сдвига по плоскости разрыва северо-западной ориентации (№ Д4 на рис. 2). В этой зоне до конца года произошло еще три афтершока с $K_p=10$ и один – с $K_p=9$ [12]. Для двух из них определены механизмы

очагов, которые оказались близкими между собой, но отличными от подвижки при главном толчке 20 февраля. В очаге первого из них, возникшего 6 апреля в $12^{\text{h}}26^{\text{m}}$ с $K_p=10$, реализовался сброс по крутой плоскости северо-западного простирания, или левый сдвиг со сбросовыми компонентами по пологой плоскости юго-западного простирания (№ Д7 на рис. 2). Подвижка в очаге второго землетрясения, зарегистрированного 7 октября в $00^{\text{h}}39^{\text{m}}$ с $K_p=9.4$, представляла собой сброс с компонентами левого сдвига по субмеридиональной плоскости разрыва, или с компонентами правого сдвига – по северо-западной (№ Д12 на рис. 2).

В очаговой зоне разрушительного Кух-Зарского землетрясения 27.08.2010 г. с $M_w=5.8$ [18] афтершоковая деятельность в 2011 г. значительно ослабла. За год зарегистрированы три толчка с $K_p=9$ [6, 12] и по одному – с $K_p=8$ и $K_p=7$ [24].

Самое крупное ($K_p=12.2$, $MS=4.4$) землетрясение года на территории Эльбурского района произошло 11 августа в $22^{\text{h}}32^{\text{m}}$ с в 50 км к югу от иранского г. Горган. Согласно решению механизма очага по данным ГО БОРОК [14], подвижка происходила в виде надвига или взброса по плоскости северо-восточного ($NP1$) или юго-западного ($NP2$) простирания (рис. 6 а). Обе нодальные плоскости параллельны ориентации ближайших сейсмолинеаментов (№ 30 на рис. 2). Решение GСMT для этого же события (рис. 6 б) очень близко к решению ГО БОРОК по типу подвижки в очаге и углу падения обеих нодальных плоскостей, но отличается разворотом простираний плоскостей разрывов и азимутов оси сжатия по часовой стрелке. При этом нодальные плоскости в решении GСMT оказываются ориентированы диагонально к северо-восточному простиранию основных тектонических структур и сейсмолинеаментов Эльбурса (рис. 1), как и при подвижке в очаге афтершока 2 октября в $06^{\text{h}}45^{\text{m}}$ с $K_p=8.1$ ($K_{\text{расч}}=8.6$ из $Mn_{\text{ТЕН}}$ [12]), при которой реализовался взброс по плоскости северо-западного простирания ($NP1$), или горизонтальный сдвиг в северо-восточном направлении по пологой ($DP=13^\circ$) субмеридиональной плоскости (рис. 6 в). Вероятно, первое движение при землетрясении 11 августа $K_p=12.2$ началось по основному разлому северо-восточного простирания, а продолжалось по секущему его разрыву.

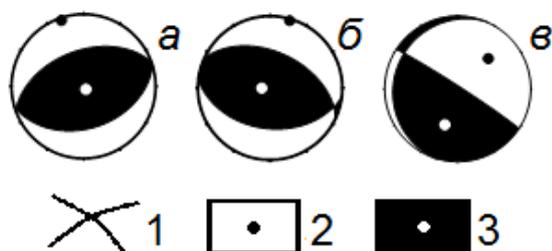


Рис. 6. Стереогаммы механизмов очагов в проекции нижней полусферы землетрясения 11 августа в $22^{\text{h}}32^{\text{m}}$ по данным ГО БОРОК (а) и GСMT (б), и его афтершока 2 октября в $06^{\text{h}}45^{\text{m}}$ (в)

1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений сжатия и растяжения; зачернены области сжатия.

Туркмено-Хорасанский район (№ 3) отличался среди сейсмоактивных районов Копетдага самой высокой сейсмической активностью с $A_{10}=0.069$ и выделившейся сейсмической энергией $\Sigma E=3.7 \cdot 10^{12}$ Дж. Эти параметры, однако, понизились по сравнению с аналогичными характеристиками в 2010 г. ($A_{10}=0.082$ и $\Sigma E=16.9 \cdot 10^{12}$ Дж соответственно) [16]. Число землетрясений всех энергетических классов, за исключением $K_p=10$ и 11, также существенно понизилось.

Самое значительное ($K_p=12.4$) в районе № 3 сейсмическое событие, зарегистрированное 26 июля в $04^{\text{h}}04^{\text{m}}$ с в 75 км к северо-западу от иранского города Себзевар, сопровождалось форшоком 24 июля в $12^{\text{h}}54^{\text{m}}$ с $K_p=9.5$ и тремя афтершоками 26 и 27 июля с $K_p=9$. В очаге главного толчка произошел левосторонний сбросо-сдвиг по субширотной плоскости, или правосторонний по плоскости северо-восточного простирания (№ 28 на рис. 2).

Интенсивным афтершоковым процессом, характерным для очаговой зоны Боджнурдского землетрясения 04.02.1997 г. с $MS=6.6$ [16], отличалось землетрясение 8 декабря 2011 г. в $20^{\text{h}}04^{\text{m}}$ с $K_p=11.2$, произошедшее в 15 км к юго-востоку от г. Боджнурд. Землетрясение предварялось форшоком, возникшим за три дня до основного толчка, и сопровождалось серией повторных толчков с $K_p=9-11$, произошедших 26 декабря в интервале трех часов после главного в серии события в $01^{\text{h}}49^{\text{m}}$ с $K_p=10.7$. Рой землетрясений 26 декабря локализован в 25 км к северо-западу от эпицентра землетрясения 8 декабря, и можно было бы предположить, что это самостоятельная серия землетрясений. Однако сходство механизмов очагов землетрясений 8 декабря с $K_p=11.2$

и 26 декабря с $K_p=10.7$ (№ 44 и 46 на рис. 2) свидетельствует о принадлежности их к единой тектонической структуре. Движения в очагах обоих землетрясений произошли в условиях горизонтального северо-западного растяжения и юго-восточного сжатия, вариации угла погружения оси которого от $PL_p=33^\circ$ при первом событии до $PL_p=62^\circ$ при втором определили преобладание сдвиговой компоненты над сбросовой в первом случае и сбросовой над сдвиговой – во втором. В этих условиях в очаге землетрясения 8 декабря реализовался левый сбросо-сдвиг по крутой плоскости ($DP_1=83^\circ$) восток–юго-восточного простирания, или правый сдвиг с незначительной компонентой сброса по более пологой ($DP_2=49^\circ$) плоскости субмеридионального простирания. В очаге толчка 26 декабря с $K_p=10.7$ произошел сброс с компонентами левого сдвига по субширотной плоскости ($DP_1=60^\circ$), или с компонентами правого сдвига по северо-восточной ($DP_2=41^\circ$, $STK_2=30^\circ$). Следует отметить, что подобный механизм очага имело и землетрясение 3 апреля в 17^h32^m с $K_p=10.8$, эпицентр которого расположен на 14 км южнее от эпицентра основного толчка 8 декабря (№ 12 на рис. 2). В очаге землетрясения 3 апреля произошел левый сбросо-сдвиг по субширотной плоскости, или правый – по меридиональной. Таким образом, и событие 3 апреля, и землетрясения 8–26 декабря следует отнести к единой серии землетрясений, обусловленной единым сейсмотектоническим процессом с миграцией эпицентров землетрясений на северо-северо-восток. Это подтверждает высказанное в [16] предположение о существовании в очаговой зоне Боджнурдского землетрясения 04.02.1997 г. с $MS=6.6$ тектонической структуры подобной ориентации, обусловившей субмеридиональную ориентацию облака афтершоков при этом землетрясении.

Следует отметить также небольшое ($K_p=9.1$) землетрясение, произошедшее 17 июня в 14^h22^m на территории Туркменистана, в 7 км к юго-востоку от г. Магтымгулы. Оно ощущалось в приграничных с Ираном селениях и в г. Магтымгулы с интенсивностью сотрясений до 2 баллов.

В **Восточном Туркменистане (№ 4)** выделенная сейсмическая энергия понизилась ($\Sigma E=0.15 \cdot 10^{12}$ Дж, по сравнению с $\Sigma E=0.42 \cdot 10^{12}$ Дж в 2010 г. [16]), что связано с уменьшением числа землетрясений с $K_p=11$.

Самым активным в 2011 г. в районе № 4 был юго-восточный участок, южнее и восточнее афганского г. Шеберган. 19–22 декабря в непосредственной близости от восточной границы района № 4 произошла серия из семи форшоков с $K_p=9–10$, главного толчка 21 декабря в 17^h27^m с $K_p=10.8$ и трех афтершоков с $K_p=9–10$. Кроме того, южнее Шебергана иранскими станциями зарегистрировано еще четыре сейсмических события с $K_p=10$ (рис. 1). Из всех событий этой зоны механизм очага удалось определить только для одного. При землетрясении 9 января в 20^h51^m [12] произошел сброс с компонентами левого сдвига по крутой меридиональной плоскости, или правого сдвига – по более пологой северо-западной.

В районе Газли в 2011 г. зарегистрировано два сейсмических события с $K_p=10$ и восемь – с $K_p=9$.

Макросейсмический эффект по всем районам наблюдался для четырех землетрясений [26] в четырех пунктах [27]. В отдельном файле [28] даны переименования названий станций.

По Копетдагу в целом следует отметить снижение выделившейся сейсмической энергии, вернувшейся, после ее повышения в 2010 г. в связи с Кух-Зарским землетрясением 27.08.2010 г. с $M_w=5.8$, к уровню энергии в 2007–2009 гг. Продолжилось уменьшение числа зарегистрированных землетрясений с $K_p \geq 8$, которое в 2011 г. достигло минимума за последние 15 лет. Сейсмическая активность осталась на уровне двух предыдущих лет, пониженном по сравнению со среднегодовым значением за период 1992–2011 гг., а наклон графика повторяемости синхронно возрос во всех сейсмоактивных районах и в регионе в целом, свидетельствуя об изменении соотношения числа слабых и сильных землетрясений в пользу слабых. Статистический анализ механизмов очагов землетрясений Каспийской очаговой зоны показал, что большинство подвижек по падающим на север пологим субширотным плоскостям разрывов содержит компоненты надвига висячего, или поддвига лежачего крыла разрыва, что поддерживает гипотезу о начале процесса субдукции Южно-Каспийского бассейна под центральный Каспий в районе Балхано-Апшеронского порога [29]. В районе Боджнурдской очаговой зоны выявлена миграция эпицентров землетрясений в север–северо-восточном направлении, что поддерживает предположение о присутствии здесь сейсмолинеамента, игравшего существенную роль в процессе развития очага Боджнурдского землетрясения 04.02.1997 г. с $MS=6.6$.

Л и т е р а т у р а

1. **Сарыева Г.Ч., Безменова Л.В., Петрова Н.В. (сост.).** Сейсмические станции Копетдага и их параметры в 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
2. **Рахимов А.Р., Славина Л.Б.** Региональный годограф Копетдагской сейсмической зоны // Изв. АН ТССР. – Сер. ФТХиГН. – 1984. – № 3. – С. 31–38.
3. **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.
4. **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.
5. **Голинский Г.Л.** Уравнения макросейсмического поля землетрясений Туркмении // Изв. АН ТССР. – Сер. ФТХиГН. – 1977. – № 1. – С. 69–74.
6. **Сарыева Г.Ч. (отв. сост.), Тачов Б., Халлаева А.Т., Дурасова И.А., Эсенова А., Петрова Н.В., Мустафаев Н.С., Безменова Л.В., Артёмова Е.В. (сост.).** Каталог землетрясений Копетдага за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
7. **International Seismological Centre (ISC),** On-line Bulletin, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2014. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.
8. **Iranian Seismological Centre.** Online Databank. – URL: <http://irsc.ut.ac.ir/bulletin.php>.
9. **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.
10. **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.
11. **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.
12. **Петрова Н.В., Безменова Л.В., Артёмова Е.В. (отв. сост.).** Дополнительный список землетрясений, не вошедших в основной каталог землетрясений Копетдага за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
13. **Петров В.А. (отв. сост.).** Дополнительный каталог механизмов очагов землетрясений Копетдага за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
14. **Петров В.А. (ГО «Борок» ИФЗ РАН), Безменова Л.В. (ИС АНТ); Петрова Н.В. (ФИЦ ЕГС РАН) (отв. сост.).** Каталог механизмов очагов землетрясений Копетдага за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
15. **Мострюков А.О., Петров В.А.** Каталог механизмов очагов землетрясений, 1964–1990 // Материалы мирового центра данных. – М.: 1994. – 87 с.
16. **Гаипов Б.Н., Голинский Г.Л., Петрова Н.В., Ильясов Б.И., Мурадов Ч.М., Рахимов А.Р., Безменова Л.В., Гарагозов Д., Ходжаев А., Баймурадов К., Рахманова М.С.** Боджнурдское землетрясение 4 февраля 1997 г. с $MS=6.6$, $I_0=8$ (Копетдаг) // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. – Обнинск: ГС РАН, 2003. – С. 199–218.
17. **Безменова Л.В., Петрова Н.В., Сарыева Г.Ч.** Копетдаг // Землетрясения Северной Евразии, 2010 год. – Обнинск: ГС РАН, 2016. – С. 114–126.
18. **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.
19. **Голинский Г.Л., Мурадов Ч.М., Петрова Н.В., Сантурян В.А., Зозуля А.Б., Курмаев Н.А., Медведев А.А., Шафадияев Р.Н., Хроменкая Е.А., Гасанов А.Г.** Каспийское землетрясение 16 сентября 1989 года // Землетрясения в СССР в 1989 году. – М.: Наука, 1993. – С. 44–61.
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. **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.
22. **Петрова Н.В., Аннаорова 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. **Jackson J., Priestley K., Allen M. and Berberian M.** Active tectonics of the South Caspian Basin // Geophys. J. Int. – 2002. – 148. – P. 214–245.
24. **Петрова Н.В. (отв. сост.).** Афтершоки Кух-Зарского землетрясения 27 августа 2010 г. с $K_p=13.8$, $M_w=5.8$ // Землетрясения Северной Евразии, 2010 год. – Обнинск: ГС РАН, 2016. (См. Приложение на CD).
25. **Сарыева Г.Ч. (отв. сост.), Тачов Б., Халлаева А.Т., Клочков А.В., Дурасова И.А., Клычёва Э.Р., Эсенова А., Петрова Н.В., Мустафаев Н.С., Артёмова Е.В. (сост.).** Каталог землетрясений Копетдага за 2010 г. ($N_{зем}=188$) // Землетрясения Северной Евразии, 2010 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2016. – (На CD).
26. **Сарыева Г.Ч. (отв. сост.).** Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений в населенных пунктах Копетдага в 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
27. **Петрова Н.В. (сост.).** Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Туркменистана за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
28. **Петрова Н.В. (сост.).** Сведения о пунктах расположения сейсмических станций Туркменистана в 2011 г. и их переименованиях. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
29. **Лыков В.М.** Схема тектонического развития земной коры. // Отчет «Разработка физической модели процессов в зоне очагов Ашхабадских землетрясений». Ашхабад: 1980. – Фонды НИИС. – С. 2–31.