

КОПЕТДАГ

Т.А. Аннаорова¹, Л.В. Безменова¹, Н.В. Петрова²,Г.Ч. Сарыева³, М.М. Чарыев¹¹ Институт сейсмологии АН Туркменистана, г. Ашхабад, tm.seismology@online.tm² Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, npetrova@gsras.ru³ Государственная сейсмологическая служба АН Туркменистана,
г. Ашхабад, gssturkm2010@mail.ru

В 2008 г. сеть стационарных сейсмических наблюдений на территории Туркменистана включала 22 станции, из них 20 аналоговых и две цифровых – «Геокча» системы IRIS и «Гермаб» типа Дельта Геон. Кроме того, на территории Ахалского вейлата в автономном режиме функционировали еще три цифровые станции типа Дельта Геон НИИ сейсмологии АН Туркменистана и восемь станций того же типа Управления «Туркменгэзлеггеофизика» (табл. 1, 2 и 3 в Приложении [1], рис. 1). Последние были установлены во второй половине 2007 г. (табл. 1 в [1]), а к сводной обработке землетрясений Копетдага подключены в 2008 г. В сентябре 2008 г. комплект аппаратуры Дельта Геон НИИС АНТ на станции «Маньш» был снят, т.к. в этом же пункте уже функционировала станция того же типа Управления «Туркменгэзлеггеофизика». В качестве датчиков на всех станциях Дельта Геон использовались сейсмоприемники СК-П1 со столообразной характеристикой коэффициента чувствительности в интервале $\Delta T=0.3-0.8$ с (табл. 2 и 3 в [1]), регистрация с частотой дискретизации 31.25 Гц велась на сменную флэш-карту с объемом недельной записи 220 Мбт.

Методика обработки записей землетрясений Копетдага не изменилась: кинематические параметры определялись на основе региональных блочных годографов [2], энергетический класс K_p – по палетке Т.Г. Раутиан [3], магнитуды $MPVA$ – согласно [4], макросейсмические характеристики ощутимых землетрясений – на основе регионального уравнения макросейсмического поля Г.Л. Голинского [5]. Правильность и полнота обработки частично контролировались путем сопоставления кинематических и динамических параметров общих землетрясений из регионального каталога [6] и бюллетеней Международного сейсмологического центра ISC [7]. Для перевода в энергетические классы магнитуд MS , $MPSP$ (MOS), M_s , m_b (ISC), ML (THR) и M_n (ГЕН), публикуемых в [7], использовались соотношения из [8, 9].

В каталоге [6] и на карте эпицентров землетрясений Копетдага (рис. 2) приведены все землетрясения с $K_p \geq 8.6$, зарегистрированные сейсмическими станциями Туркменистана за год для Копетдага в целом и по основным сейсмоактивным районам (табл. 1).

Таблица 1. Координаты и площади пяти районов и региона в целом, а также значения в них

$K_{3\min}$ и $K_{\gamma\min}$

№	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	9
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

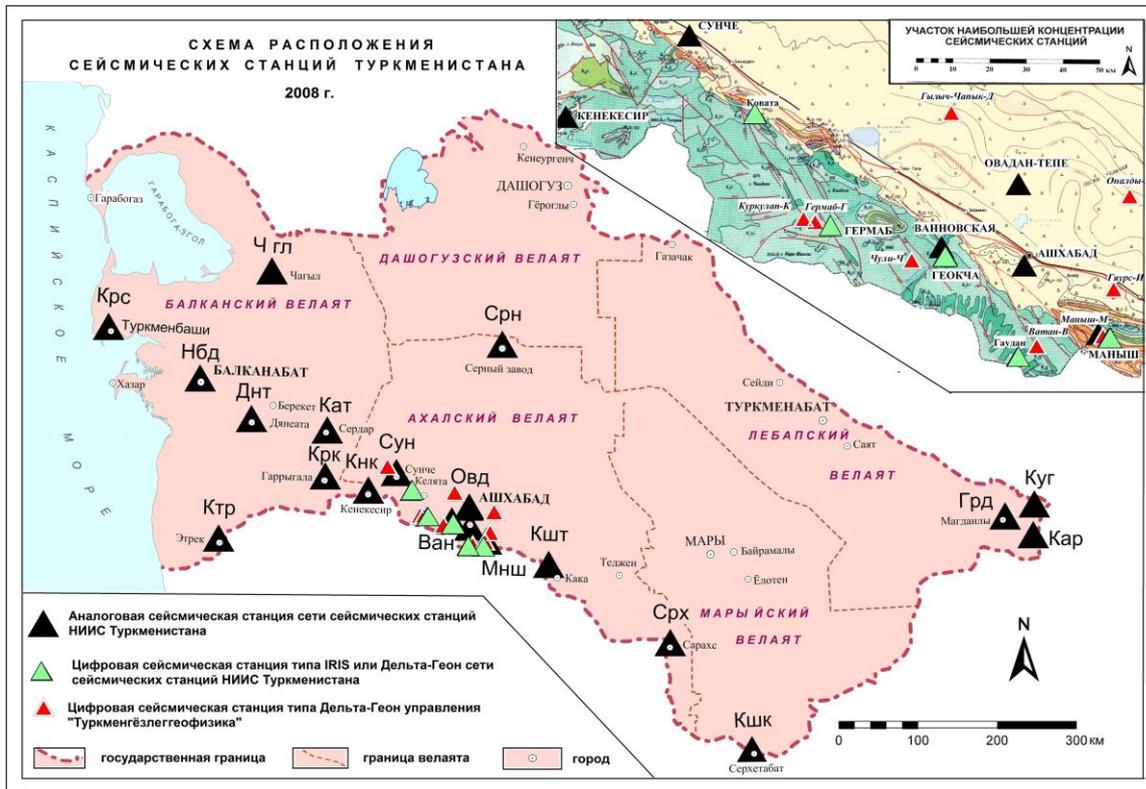


Рис. 1. Схема расположения сейсмических станций Копетдага в 2008 г. (на врезке – станции НИИ сейсмологии и управления «Туркменгёзлегеофизика» на территории Ахалского вельяета на фоне геологической карты [10] Туркменистана)

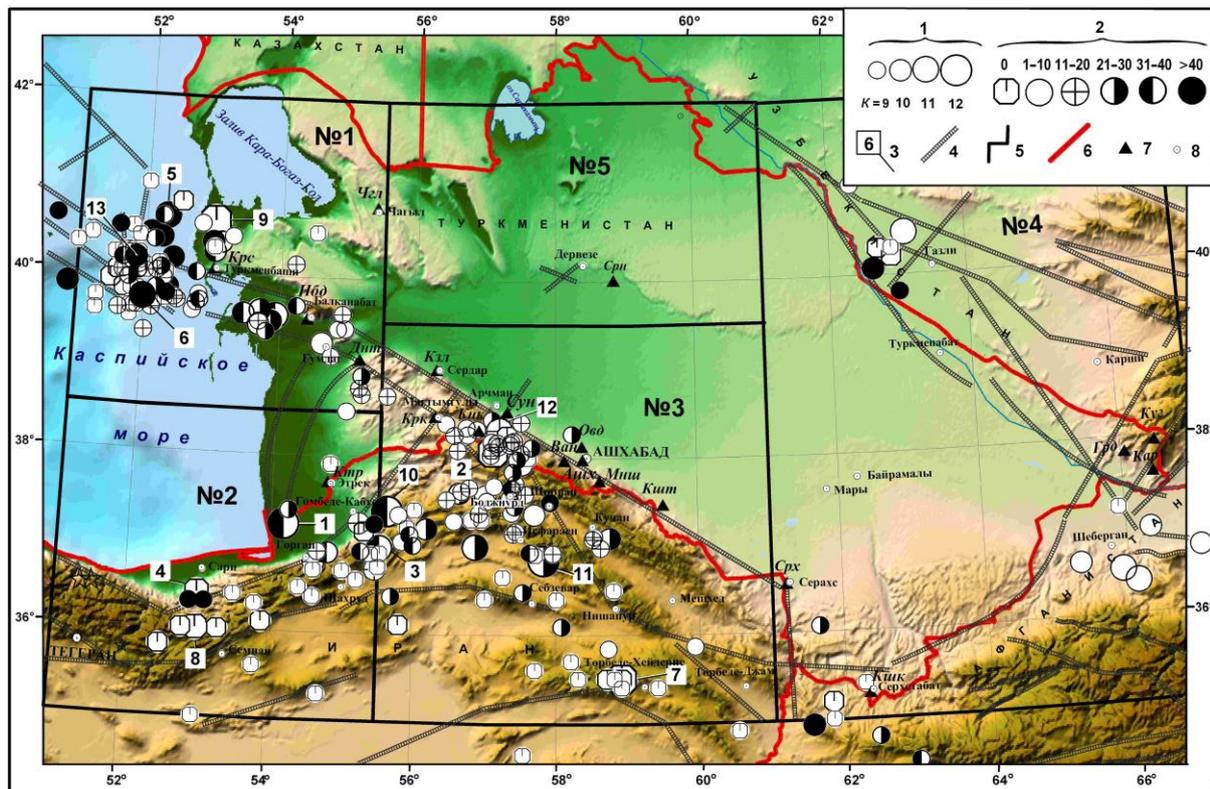


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений Копетдага за 2008 г.

1 – энергетический класс K_r ; 2 – глубина гипоцентра h , км; 3 – номер землетрясения согласно [6, 11]; 4 – разлом; 5 – граница и номер сейсмоактивного района; 6 – граница Туркменистана; 7 – сейсмическая станция; 8 – город.

Механизмы очагов землетрясений Копетдага за 2008 г., определенные с привлечением знаков первых вступлений на сейсмических станциях Туркменистана и ISC [7], представлены в [11] и на рис. 3.

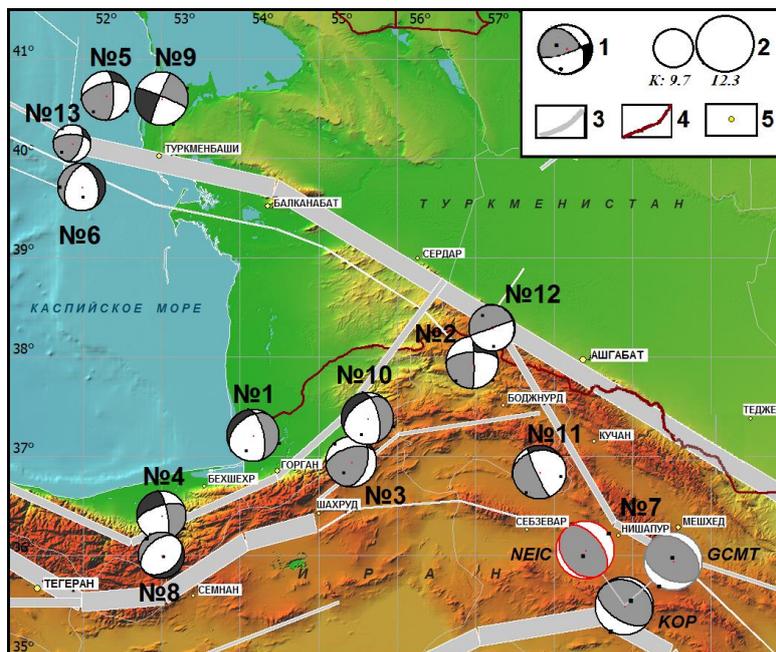


Рис. 3. Механизмы очагов землетрясений Копетдага в 2008 г.

1 – стереограмма механизма очага в проекции нижней полусферы, зачернена область сжатия, номер рядом со стереограммой соответствует номеру механизма очага в [11]; 2 – K_p (без округления до целых классов); 3 – сейсмолинеament согласно схеме [12]; 4 – государственная граница; 5 – город.

В табл. 2 приведены характеристики сейсмического режима в основных сейсмоактивных районах Копетдагского региона.

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

№	Район	K_p					N_{Σ}	$\Sigma E,$ 10^{12} Дж	γ	A_{10}	ΔK^*
		8	9	10	11	12					
1	Балхано-Каспийский	143	72	21	3	1	240	1.369	0.64	0.115	9–12
2	Эльбурский	27	21	8	3	1	60	1.066	0.44	0.05	9–12
3	Туркмено-Хорасанский	137	72	13	2	4	228	3.906	0.46	0.066	8–12
4	Восточный Туркменистан	5	7	6	3		21	0.46			
5	Центрально-Каракумский										
	КОПЕТДАГ	312	172	48	11	6	549	6.77	0.51	0.041	9–12

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

В 2008 г. продолжилось наблюдавшееся в течение трех предыдущих лет уменьшение сейсмической энергии, выделившейся на территории Копетдагского региона ($\Sigma E=6.77 \cdot 10^{12} \text{ Дж}$ в 2008 г., по сравнению с $\Sigma E=8.28 \cdot 10^{12} \text{ Дж}$ – в 2007 г. и $\Sigma E=17.8 \cdot 10^{12} \text{ Дж}$ – в 2006 г.), которое, как следует из рис. 4, обусловлено последовательным уменьшением числа сейсмических событий старших энергетических классов с $K_p > 11$ после 2004 г., при отсутствии землетрясений с $K_p > 12$ в 2007 и 2008 гг. Число более слабых ($K_p=8-11$) событий в этот период варьировало около фоновых значений в «спокойные» периоды, не осложненные афтершоковыми процессами Боджнурдского землетрясения 04.02.1997 г. с $MS=6.6$ [13] и Балханского 06.12.2000 г. с $MS=7.3$ [14].

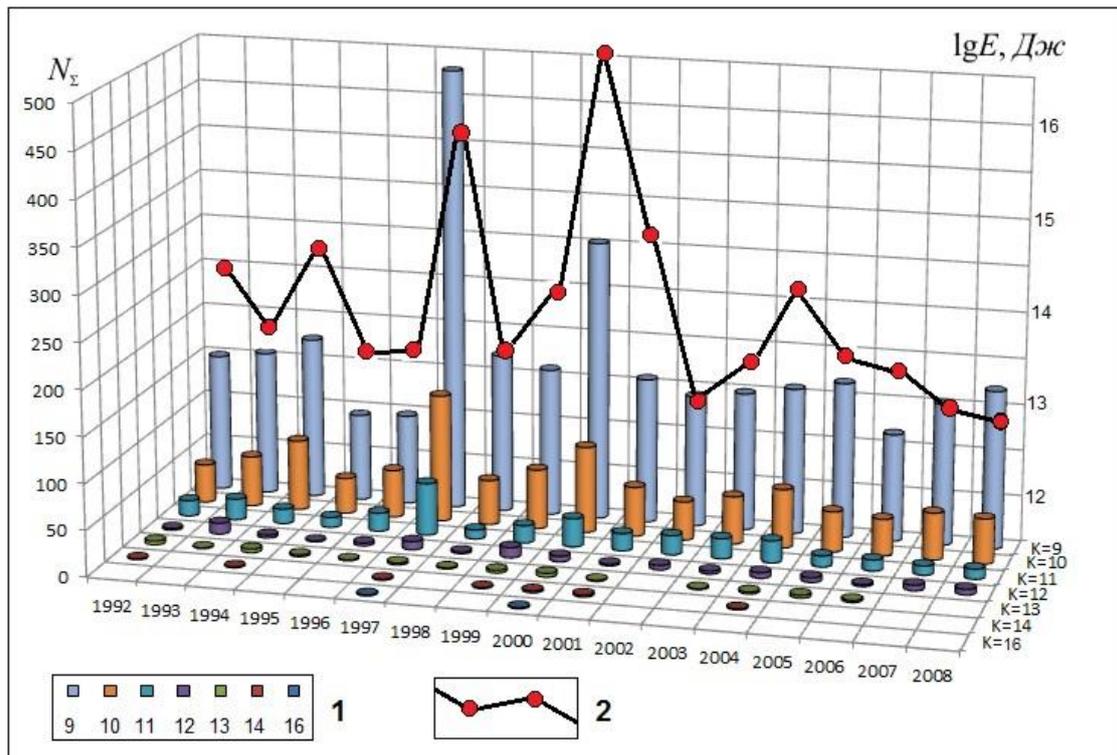


Рис. 4. Распределение числа землетрясений N_{Σ} (1) и суммарной сейсмической энергии ΣE (2), выделившейся на территории Копетдага, по годам и энергетическим классам

Как и в 2007 г., на территории Копетдага в 2008 г. зарегистрировано 6 землетрясений максимального энергетического класса $K_p=12$, из них четыре (29 февраля в 19^{h57^m} с $K_p=11.6$, 3 июля в 09^{h59^m} с $K_p=12.3$, 1 августа в 22^{h44^m} с $K_p=11.7$ и $h=32$ км, 16 октября в 06^{h39^m} с $K_p=11.8$ и $h=22$ км) произошли в Туркмено-Хорасанском районе и по одному – в Балхано-Каспийском (17 июля в 03^{h57^m} с $K_p=11.8$) и Эльбурском (6 января в 04^{h22^m} с $K_p=11.6$ и $h=37$ км) районах [6]. Максимальные значения числа землетрясений, угла γ наклона графика повторяемости и сейсмической активности в единицах A_{10} наблюдались в 2008 г. в Балхано-Каспийском районе (№ 1 на рис. 2), однако большая часть сейсмической энергии выделилась на территории Туркмено-Хорасанского района (№ 3).

Сейсмическая активность на территории **Балхано-Каспийского района (№ 1)** повысилась, по сравнению с таковой в 2007 г., в основном за счет увеличения числа землетрясений с $K_p=10$, тогда как число сейсмических событий с $K_p=11$ и 12 осталось на уровне $N(K_p)$ в 2007 г. В районе, как и в прошлом году, зарегистрировано одно землетрясение с $K_p=11.8$, произошедшее 17 июля в 03^{h57^m} в 60 км к северу от г. Туркменбаши, в котором ощущалось с интенсивностью $I=2$ балла на верхних этажах зданий [6]. Механизм очага этого землетрясения (№ 9 на рис. 3) представляет собой чистый сдвиг по двум возможным вертикальным плоскостям разрыва – правосторонний сдвиг по субширотной плоскости и левосторонний сдвиг по субмеридиональной.

В течение года в Балхано-Каспийском районе произошли еще три землетрясения (№ 5, 6, 13), для которых определены механизмы очага [11]. Эпицентры этих землетрясений расположены в акватории Каспийского моря. Субвертикальные плоскости разрыва в очаге землетрясения 16 апреля в 10^{h39^m} с $K_p=11.3$, $h=42$ км (№ 5 на рис. 3) имели широтное и меридиональное простираение. По меридиональной плоскости $NP1$ произошел левосторонний, а по плоскости $NP2$ широтного простираения правосторонний сдвиги, с небольшими взбросовыми компонентами при движении по обеим плоскостям. В очаге землетрясения 10 мая в 22^{h25^m} с $K_p=11.1$ (№ 6 на рис. 3) произошел сдвиго-сброс по субмеридиональным плоскостям разрыва. При землетрясении 12 ноября в 06^{h45^m} с $K_p=9.7$ (№ 13 на рис. 3) по широтной и субмеридиональной плоскостям произошел взбросо-сдвиг, правый по широтной и левый по меридиональной.

Эльбурский район (№ 2) отличался в 2008 г. повышенным числом землетрясений с $K_p \geq 10$, по сравнению с таковыми показателями в 2007 г., в результате чего несколько возросла сейсмическая активность и более значительно – выделившаяся за год сейсмическая энергия. Общее число зарегистрированных землетрясений, однако, уменьшилось за счет резкого падения числа землетрясений с $K_p=8$ и 9. Соответственно, значительно понизилось и значение угла наклона графика повторяемости.

На юго-восточном побережье Каспийского моря зарегистрировано землетрясение 6 января в 14^h22^m с $K_p=11.6$, механизм которого (№ 1 на рис. 3) представлял собой правосторонний сдвиг-сброс по меридиональной плоскости $NP2$, или левосторонний сбросо-сдвиг по плоскости $NP1$ юго-западного простирания.

Второе по величине ($K_p=11.3$) землетрясение в районе № 2, для которого определен механизм очага, произошло 26 марта в 18^h49^m южнее Каспия. Подвижка в его очаге (№ 4 на рис. 3) представляла собой левосторонний сдвиг по плоскости $NP1$ восток–северо-восточного простирания, или правосторонний сдвиг по субмеридиональной плоскости разрыва $NP2$, с незначительными сбросовыми компонентами. Приуроченность эпицентра этого землетрясения к Эльбурскому линеamentу и близость простирания нодальной плоскости $NP1$ к северо-восточной ориентации последнего позволяют выбрать плоскость $NP1$ в качестве действующей.

16 июля в 15^h56^m чуть южнее эпицентра землетрясения 26 марта было зарегистрировано землетрясение с $K_p=10.9$, механизм очага (№ 8 на рис. 3) которого представлял собой сброс по плоскостям северо-восточного простирания, также совпадающим с ориентацией сейсмолинеamentов и разломов в этой части Эльбурса.

В Туркмено-Хорасанском районе (№ 3) значения угла наклона графика повторяемости γ и сейсмической активности A_{10} понизились по сравнению с данными за предыдущий год, несмотря на некоторое повышение величины выделившейся сейсмической энергии. Указанные изменения произошли в результате уменьшения числа слабых землетрясений и увеличения числа землетрясений порядка $K_p=12$. На территории района зарегистрировано по четыре землетрясения порядка 11-го и 12-го энергетического класса.

Упомянутое выше землетрясение за 29 февраля в 19^h57^m с $K_p=11.6$ произошло на границе Туркменистана и Ирана (рис. 5) и ощущалось в пос. Кёнекесир (30 км) с интенсивностью $I=3$ балла. Согласно решению механизма очага (№ 2 на рис. 3), подвижка в очаге представляла собой левосторонний сдвиг по вертикальной меридиональной плоскости $NP1$, или правосторонний сдвиг по субвертикальной широтной плоскости разрыва $NP2$.

Главный толчок сопровождался интенсивным афтершоковым процессом, который продолжался до конца апреля 2008 г. [15]. Благодаря близости высокочувствительных станций («Кёнекесир» – 25 км, «Ковата» – 35 км, «Сунча» – 41 км, «Г+» и «Грм» – 51–55 км), обеспечивших неплохое азимутальное окружение эпицентра ($Az=190^\circ$), удалось зарегистрировать 194 афтершока с $K_p=3.0-9.6$ ([15], рис. 5), из них 133 – представительного для этого района энергетического уровня $K_p \geq 5$. Для выделения афтершоков использовался модифицированный алгоритм Прозорова [16], реализованный в ГИС-системе EEDB [17], при заданном отношении $r_a=10$ числа афтершоков к числу фоновых землетрясений.

Судя по меридиональной ориентации облака афтершоков (рис. 5 а) и близости эпицентра главного толчка к линеamentу север–северо-восточной ориентации, предпочтительной можно считать подвижку в очаге главного толчка по плоскости $NP1$. Этот вывод поддерживает и выявленная средствами GIS EEDB приуроченность максимального числа кластеризованных пар в афтершоковой последовательности к азимутам 0–30° и 180–210° (рис. 5 а, врезка).

На территории Северного Ирана, в 60 км к северо-востоку от иранского г. Шахруд, 18 марта в 03^h56^m произошло землетрясение с $K_p=11.4$. Подвижка в его очаге (№ 3 на рис. 3) представляла собой взброс с компонентами лево- и правостороннего сдвига по плоскостям субмеридионального и субширотного простирания соответственно.

Решения механизма очага для землетрясения 3 июля в 21^h10^m с $K_p=12.3$ (№ 7 на рис. 3), зарегистрированного в южной части района, приведены по данным трех источников – NEIC, GCMT [7] и КОП [11]. Все решения подобны и относятся к типу взбросо-надвиг по плоскости северо-западного или юго-восточного простирания.

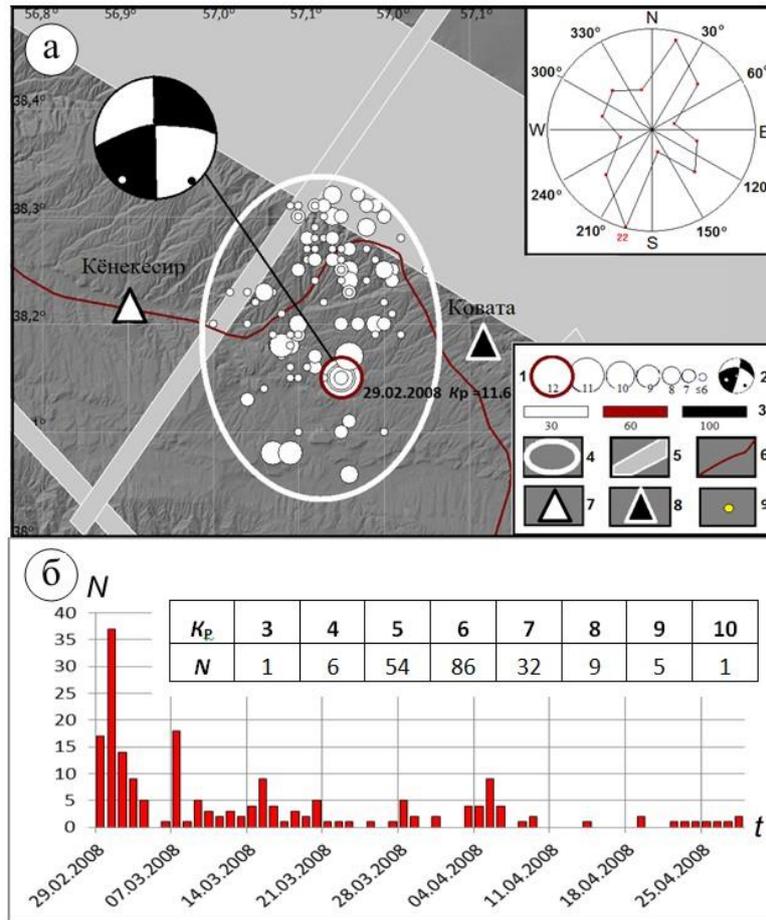


Рис. 5. Механизм очага землетрясения 29 февраля в 19^h57^m с $K_p=11.6$ в сопоставлении с ориентацией облака афтершоков (а) и розой-диаграммой распределения по азимуту числа кластеризованных пар в афтершоковой последовательности (врезка); б – распределение числа афтершоков по энергетическим классам и однодневным временным интервалам

1 – энергетический класс K_p ; 2 – механизм очага основного толчка, зачернены области сжатия; 3 – глубина гипоцентра h , км; 4 – область афтершоков, выделенных по методу Прозорова [16] средствами ГИС-системы EEDB [17]; 5 – сейсмолинеament согласно схеме [12]; 6 – государственная граница; 7, 8 – сейсмические станции аналоговая и цифровая соответственно; 9 – населенный пункт.

На западной границе района № 3, в зоне перехода от Туркмено-Хорасанских гор к опущенным структурам Западно-Туркменской впадины, являющейся частью Южно-Каспийской плиты, 1 августа в 22^h44^m произошло землетрясение с $K_p=11.7$. Механизм его очага (№ 10 на рис. 3) представлял собой левосторонний сбросо-сдвиг по плоскости $NP1$ юго-западного простирания, или правосторонний сдвиго-сброс по субмеридиональной плоскости $NP2$. Обращает на себя внимание факт почти полной идентичности механизмов очагов этого землетрясения и землетрясения № 1 на рис. 3 от 6 января в 14^h22^m с $K_p=11.6$, а также близость к ним механизма очага землетрясения № 6 на рис. 3 от 10 мая в 22^h25^m с $K_p=11.1$. Все три толчка приурочены к границам и внутренним частям Южно-Каспийской плиты, и значительные сбросовые компоненты подвижек в их очагах отражают, вероятно, процесс опускания Южно-Каспийской впадины, по крайней мере, в январе–августе 2008 г.

Землетрясение с $K_p=11.8$ произошло 16 октября в 06^h39^m в 50 км к северу от иранского г. Шахруд (№ 11 на рис. 3). Подвижка его в очаге представляла собой правосторонний сдвиг с незначительной компонентой сброса по пологой субширотной плоскости $NP2$, или сброс с компонентой левостороннего сдвига по крутой плоскости $NP1$ юго-восточного простирания.

В окрестностях п. Арчман на территории Туркменистана 24 октября в 05^h14^m зарегистрировано землетрясение с $K_p=10.9$. В его очаге (№ 12 на рис. 3) произошел взброс юго-восточного крыла вертикальной плоскости разрыва северо-восточного простирания, или сдвиг по падению близгоризонтальной субмеридиональной плоскости разрыва. Возникновение этого землетрясе-

ния на северной границе эллипса (рис. 5), ооконтуривающего облако афтершоков землетрясения 29 февраля в $19^{\text{h}}57^{\text{m}}$ с $K_p=11.6$ (№2 на рис. 2 и 3), вызвано, вероятно, перераспределением напряжений в результате последнего и их концентрацией в северном направлении.

В Восточном Туркменистане (район № 4) выделенная сейсмическая энергия понизилась по сравнению с таковой в 2007 г. из-за отсутствия землетрясений с $K_p=12$, хотя число землетрясений с $K_p \div 10$, 11 несколько возросло. В районе зарегистрированы два землетрясения с $K_p \div 11$ в Северном Афганистане и одно в окрестностях поселка Газли, Западный Узбекистан.

В Северном Афганистане локализованы две группы эпицентров – в районе станций «Серахс», «Кушка» и в районе станций «Гаурдак», «Карлюк», «Кугитанг».

К первой группе относятся два землетрясения с $K_p \div 10$, произошедшие 29 марта в $13^{\text{h}}01^{\text{m}}$ с $K_p=9.6$ и $h=42$ км чуть южнее границы района и 24 декабря в $13^{\text{h}}58^{\text{m}}$ с $K_p=9.9$ – внутри границ. Здесь же локализованы пять землетрясений $K_p \div 9$, два из них – вне района и региона [6]. Отметим значительные ($h=22-42$ км) глубины их очагов.

Во вторую группу входят только мелкие ($h=3-9$ км) землетрясения, среди которых два порядка $K_p \div 11$, произошедшие 23 января в $01^{\text{h}}27^{\text{m}}$ с $K_p=11.4$ и $h=9$ км и в $08^{\text{h}}28^{\text{m}}$ с $K_p=10.8$ и $h=8$ км. Кроме того, в этом районе зарегистрированы три землетрясения с $K_p \div 10$, одно из которых локализовано восточнее района, и одно – с $K_p \div 9$.

В районе Газли зарегистрировано одно землетрясение с $K_p \div 11$ (10 мая в $22^{\text{h}}13^{\text{m}}$ с $K_p=10.7$ и $h=7$ км), три – с $K_p \div 10$ (20 мая в $08^{\text{h}}09^{\text{m}}$ с $K_p=9.6$, 28 июня в $22^{\text{h}}46^{\text{m}}$ с $K_p=10.3$, 10 ноября в $08^{\text{h}}34^{\text{m}}$ с $K_p=10.3$) и еще три – с $K_p \div 9$.

В целом по Копетдагскому региону отмечено продолжение наблюдавшегося в течение 2005–2007 гг. уменьшения сейсмической энергии, выделившейся на его территории, с последовательным исчезновением землетрясений с энергетическими классами $K_p > 13$ в 2005–2006 гг. и $K_p > 12$ в 2007–2008 гг. Пространственно дефицит энергии приурочен в 2008 г. к территории Восточного Туркменистана, где не произошло ни одного землетрясения с $K_p \div 12$ и выше, тогда как в остальных районах наблюдалась незначительная активизация сейсмичности. Обращает на себя внимание преобладание сбросовых и сбросо-сдвиговых подвижек в очагах землетрясений на границах и в пределах Южно-Каспийской плиты.

Л и т е р а т у р а

1. Сарыева Г.Ч., Ключков А.В., Петрова Н.В., Аннаорова Т.А. Сейсмические станции Копетдага и их параметры в 2008 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
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., Ключков А.В., Халлаева А.Т., Дурасова И.А., Эсенова А., Петрова Н.В., Мустафаев Н.С., Артёмова Е.В. Каталог землетрясений Копетдага за 2008 г. ($N=246$). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
7. **Bulletin of the International Seismological Centre for 2008.** – Thatcham, United Kingdom: ISC, 2010. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.
8. Петрова Н.В. Соотношения между оценками величины землетрясений Копетдага по данным различных сейсмологических центров // Землетрясения Северной Евразии, 2003 год. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 409–417.
9. Петрова Н.В. Магнитуды в международной сейсмологической практике и их связь с энергетическим классом по сети сейсмических станций Туркменистана // Материалы Международной конференции «Наука, техника и инновационные технологии в эпоху великого возрождения». – Ашхабад: ЫЛЫМ, 2010. – С. 83–86.

10. **Геологическая карта Туркменской ССР.** Масштаб 1:500000 / Под редакцией М.К. Мирзаханова, В.Н. Крымуса и др. – Ашхабад: Туркменгеодезия, 1989.
11. **Аннаорова Т.А., Безменова Л.В., Петрова Н.В., Петров В.А. (отв. сост.).** Каталог механизмов очагов землетрясений Копетдага за 2008 год. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
12. **Уломов В.И.** Актуализация нормативного сейсмического районирования в составе единой информационной системы «Сейсмобезопасность России» // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2012. – 39. – № 1. – С. 5–38.
13. **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.
14. **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.
15. **Сарыева Г.Ч., Петрова Н.В. (отв. сост.).** Афтершоки землетрясения 29 февраля 2008 г. с $K_p=11.6$ ($N=194$). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
16. **Прозоров А.Г.** Динамический алгоритм выделения афтершоков для мирового каталога землетрясений // Математические методы в сейсмологии и геофизике (Вычислительная сейсмология, Вып.19). – М.: Наука, 1986. – С. 58–62.
17. **Михеева А.В., Дядьков П.Г., Марчук Ан.Г.** Геоинформационная система GIS-EEDB и методы пространственно-временного анализа сейсмологических данных // Геоинформатика. – 2013. – № 2. – С. 58–65.