

КОПЕТДАГ

Л.В. Безменова¹, Н.В. Петрова², Г.Ч. Сарыева¹¹ Институт сейсмологии АН Туркменистана, г. Ашхабад, tm.seismology@online.tm² Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, npetrova@gsras.ru

Сейсмичность территории Копетдагского региона в 2009 г. регистрировалась региональной сетью стационарных сейсмических станций, включающей 17 аналоговых и 15 цифровых сейсмических станции (рис. 1, [1]), причем на станции «Кизил-Арват», оснащенной ранее аппаратурой регистрации сильных движений грунта ССРЗ-М, цифровая аппаратура типа Дельта Геон была установлена 1 марта 2009 г. Эту сеть поддерживали локальные сети цифровых сейсмических станций типа Дельта Геон Государственной сейсмологической службы Академии наук Туркменистана (ГСС АНТ) и управления «Туркменгезлегеофизика» ([1], рис. 1, 2). С целью оптимизации дальности регистрации землетрясений в расстановке станций локальных сетей в течение года был произведен ряд изменений. В марте в селе Гаудан была снята, а 1 июня в селе Сунчи установлена цифровая станция Дельта Геон ГСС АНТ. В мае и декабре 2009 г. были закрыты станции «Ватан» и «Гермаб» управления «Туркменгезлегеофизика», взамен открыты станции типа Дельта Геон – «Мергеновля» в январе и «Арчман» в мае (рис. 1, [1]). В качестве датчиков на всех станциях типа Дельта Геон использовались сейсмоприемники СК-П1 со столообразной характеристикой коэффициента чувствительности в интервале $\Delta T=0.3-0.8$ с [1], регистрация с частотой дискретизации 31.25 Гц велась на сменную флеш-карту с объемом недельной записи 220 Мбт.

Эти сети обеспечили энергетическую представительность регистрации землетрясений на территории Туркмено-Хорасанского района с $K_{3min}=8$, Балхано-Каспийского и Центрально-Каракумского – с $K_{3min}=8-9$, Эльбурского и Восточного Туркменистана – с $K_{3min}=9-10$ (рис. 1, табл. 1). Наилучшую энергетическую представительность локальные сети цифровых станций, расположенные в основном на территории Ахалской области, обеспечили в центральной части региона – изолиния с $K_{3min}=4.5$ охватила в 2009 г. территорию от Гяурса до Арчмана (рис. 2), а с $K_{3min}=7$ – от Каушута до Балканабата (рис. 1).

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 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	9–10	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

При обработке зарегистрированных землетрясений их кинематические параметры, как и в предыдущие годы, 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 [5]. Правильность и полнота обработки контролировались сопоставлением параметров землетрясений Копетдага из регионального каталога [6] с параметрами этих землетрясений, приведенными в бюллетенях Международного сейсмологического центра ISC [7]. Для перевода в классы K_p публикуемых в [7] магнитуд MS и $MPSP$ по данным MOS , M_s и m_b – по данным ISC, магнитуды $ML_{(THR)}$ и $ML_{(TEN)}$ – по данным иранских сейсмологических центров THR и TEN, использовались соотношения из [8, 9]. Для построения карт энергетической представительности K_{3min} использовались новая методика и программное обеспечение [10].

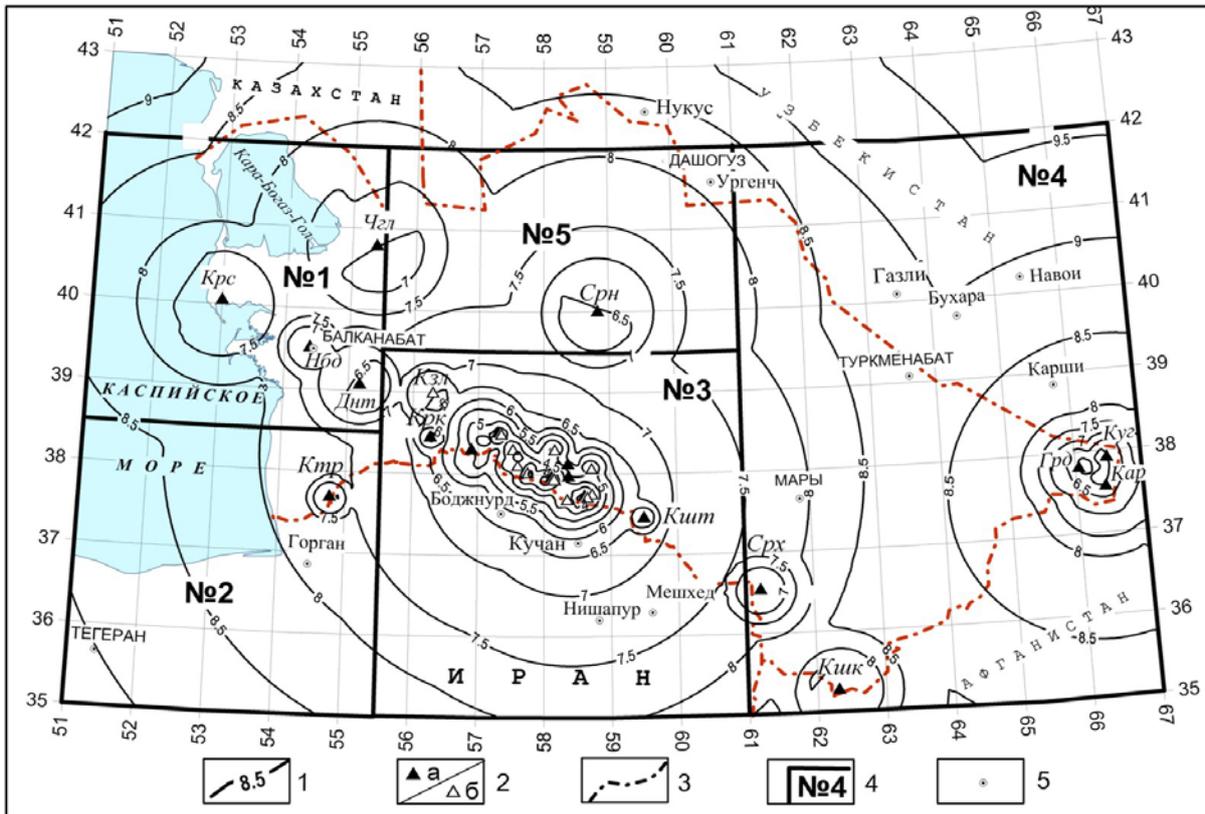


Рис. 1. Карта энергетической представительности землетрясений Копетдага K_{3min} по данным наблюдений в 2009 г., рассчитанная по методике [10]

1 – изолиния K_{3min} ; 2 – сейсмическая станция аналоговая (а) и цифровая (б); 3 – государственная граница; 4 – граница сейсмоактивного района; 5 – город.

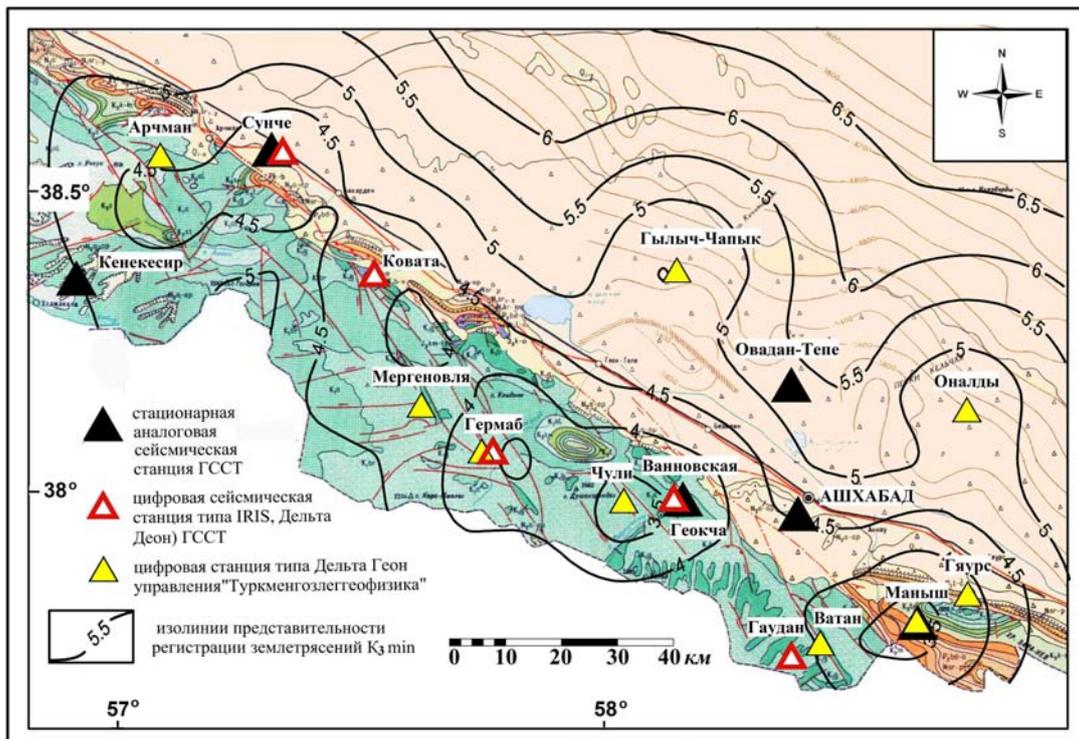


Рис. 2. Энергетическая представительность регистрации землетрясений Центрального Копетдага сейсмическими станциями Государственной сейсмологической службы Академии наук и управления «Туркменгезлегеофизика» Туркменистана

Механизмы очагов 36 землетрясений Копетдага в 2009 г. [11] определялись совместно с сотрудниками Геофизической обсерватории «Борок» (филиал ИФЗ РАН) по знакам первых вступлений P -волн на сейсмических станциях Туркменистана с привлечением данных станций глобальной сети, опубликованных в [12]. При решении фокальных механизмов использовались методические приемы, предложенные в [13].

В каталоге [6] и на карте эпицентров землетрясений Копетдага (рис. 3) приведены все события с $K_p \geq 8.6$, зарегистрированные сетью сейсмических станций Туркменистана за год в границах региона (табл. 1) и за его пределами. Однако при расчетах энергетической представительности $K_{\text{упп}}$ и характеристик сейсмического режима по районам в табл. 1 и 2 использовались только сейсмические события, произошедшие в пределах координат, указанных в табл. 1.

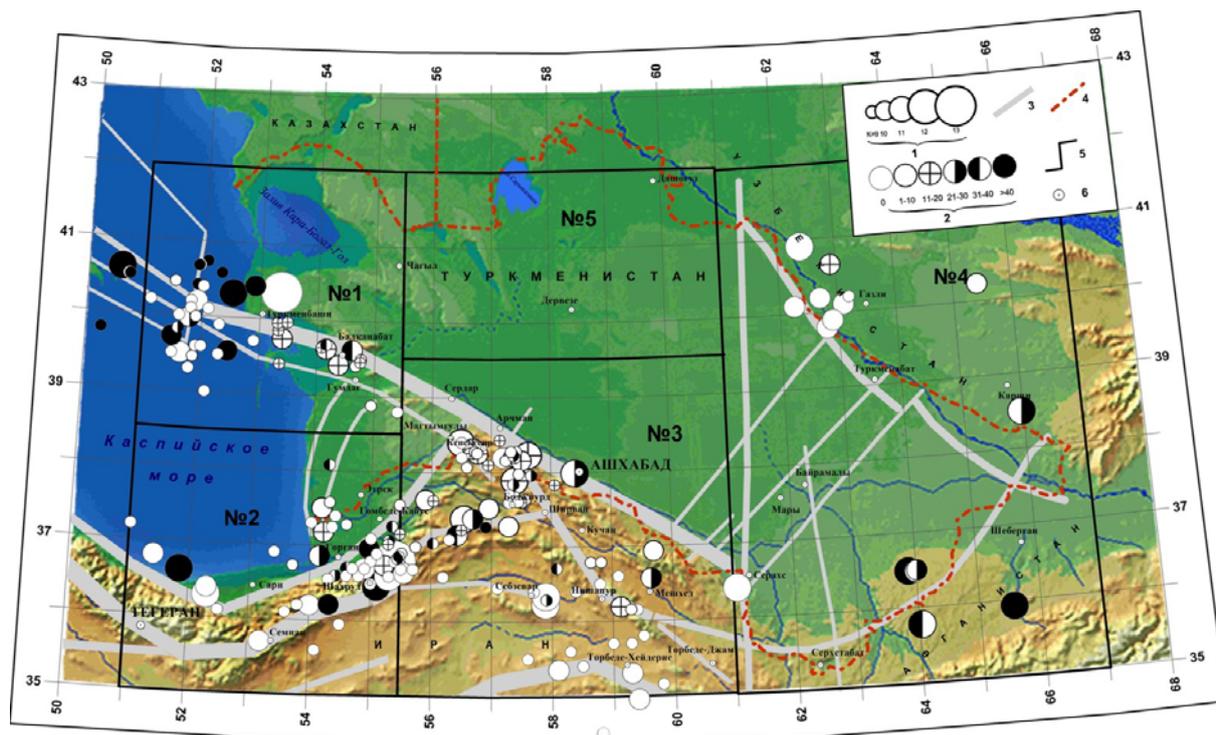


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений Копетдага в 2009 г.

1 – энергетический класс K_p ; 2 – глубина гипоцентра h , км; 3 – разлом; 4 – граница Туркменистана; 5 – граница сейсмоактивного района; 6 – 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 2009 г.

№	Район	K_p						N_{Σ}	$\Sigma E \cdot 10^{12}$ Дж	γ	A_{10}	ΔK
		8	9	10	11	12	13					
1	Балхано-Каспийский	105	33	10	1		1	150	5.284	0.44	0.066	8–13
2	Эльбурский	29	36	12	4	1		82	0.968	0.51	0.075	9–12
3	Туркмено-Хорасанский	143	50	16	7			216	0.911	0.44	0.074	8–12
4	Восточный Туркменистан	6	1	8	6			21	0.501			
5	Центрально-Каракумский											
	КОПЕТДАГ	283	120	46	18	1	1	469	7.669	0.54	0.035	9–13

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

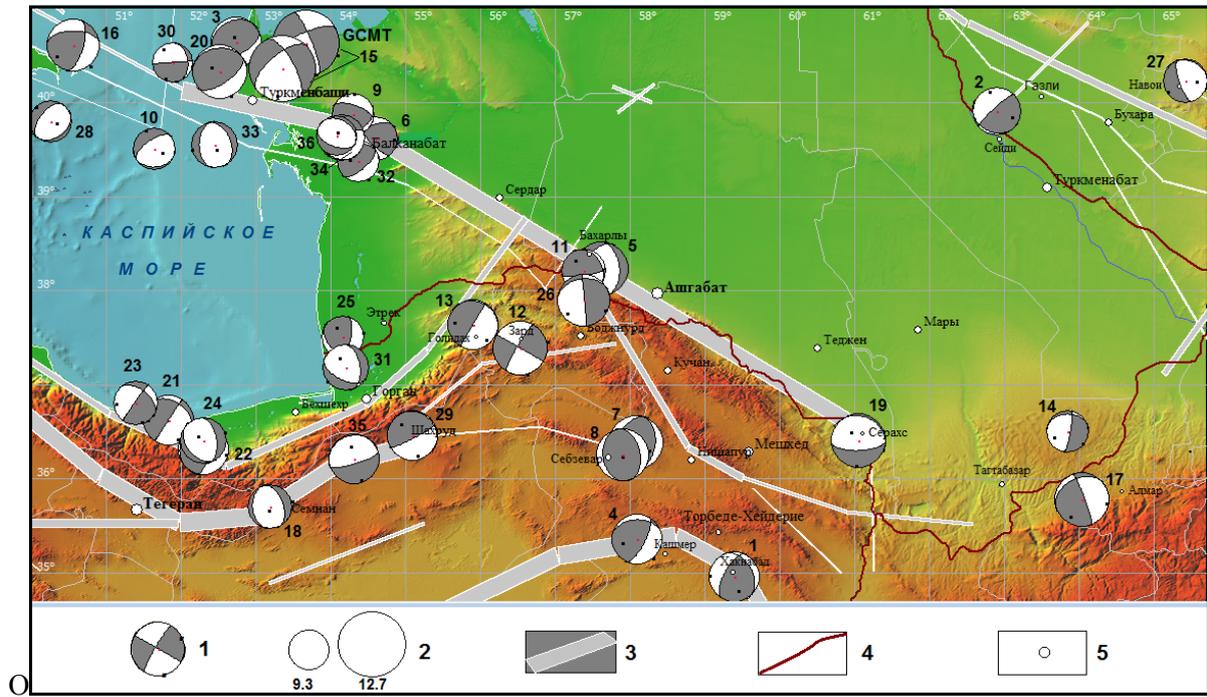


Рис. 4. Механизмы очагов землетрясений Копетдага в 2009 г.

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 – сейсмолинемент согласно схеме [16]; 4 – государственная граница; 5 – город.

Самым крупным ($K_p=12.7$) на территории Копетдагского региона в 2009 г. было землетрясение, произошедшее 2 июня в $14^{\text{h}}39^{\text{m}}$ в 47 км [6] к северо-востоку от г. Туркменбаши и ощущавшееся там с интенсивностью $I=2-3$ балла [14]. Землетрясение характерно тем, что практически не имело афтершоков.

Общее число зарегистрированных в 2009 г. землетрясений с $K_p \geq 7.6$ по Копетдагу в целом, как и число землетрясений с $K_p \neq 8$ и 9, достигло минимума за последние 13 лет, несмотря на понижение уровня энергетической представительности регистрации землетрясений в центральной части региона и небольшой рост выделившейся сейсмической энергии ($\Sigma E=7.67 \cdot 10^{12}$ Дж в 2009 г. (табл. 2) по сравнению с $\Sigma E=6.77 \cdot 10^{12}$ Дж в 2008 г. [15]) после спада в течение трех предыдущих лет (рис. 5). Рост выделившейся энергии обеспечило вышеупомянутое землетрясение 2 июня с $K_p=12.7$, но, как будет показано далее, оно сопровождалось значительным сейсмическим затишьем, обусловившим понижение сейсмической активности и числа землетрясений как в Балхано-Каспийском районе, так и в регионе в целом.

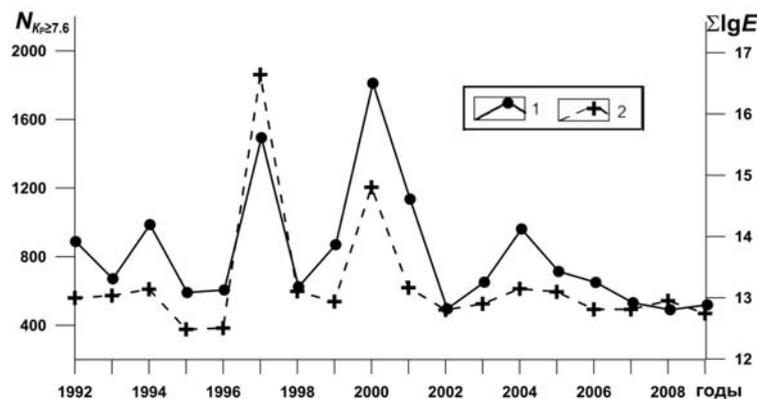


Рис. 5. Распределение по годам числа землетрясений $N_{K_p \geq 7.6}$ и суммарной сейсмической энергии ΣE , выделившейся в границах Копетдагского региона в период 1992–2009 гг.

1 – выделившаяся сейсмическая энергия ΣE , Дж; 2 – число землетрясений с $K_p \geq 7.6$.

Рассмотрим особенности сейсмичности в каждом из районов.

На территории **Балхано-Каспийского района (№ 1)** в 2009 г. выделилось максимальное количество сейсмической энергии по сравнению аналогичным параметром в других сейсмоактивных районах региона, однако сейсмическая активность района, равная $A_{10}=0.066$, уступает подобным значениям в Эльбурском и Туркмено-Хорасанском районах (табл. 3), а также значению A_{10} в районе № 1 в 2008 г. ($A_{10}=0.115$ [15]). Анализ пространственно-временного распределения сейсмичности по методике [17, 18] показал, что низкая сейсмическая активность на территории района в 2009 г. вызвана сейсмическим затишьем в зоне подготовки землетрясения 2 июня в $14^{\text{h}}39^{\text{m}}$ с $K_p=12.7$, произошедшего северо-восточнее г. Туркменбаши (рис. 6).

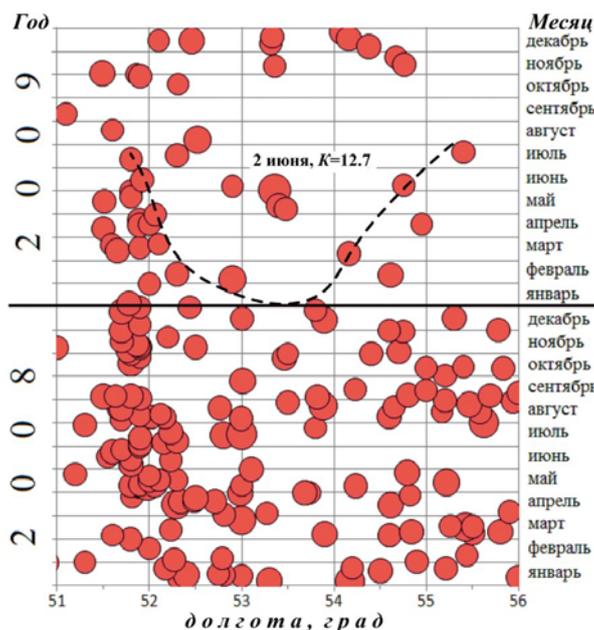


Рис. 6. Пространственно-временное распределение эпицентров землетрясений с $K_p \geq 8.6$ на территории Балхано-Каспийского района в 2008–2009 гг. в проекции на долготу (пунктирной линией показано развитие области сейсмического затишья в 2009 г.)

Землетрясение 2 июня ощущалось в г. Туркменбаши с интенсивностью 2–3 балла, в г. Балканабате – 2 балла. В бюллетене ISC [7] приводятся также данные об ощутимости этого землетрясения на п-ове Челекен без уточнения интенсивности. Решение механизма очага (№ 15 на рис. 4), по совместному определению Института сейсмологии АН Туркменистана (ИС АНТ) и Геофизической обсерватории «Борок» (ГО БОРОК), совпадает с решением GСMT, опубликованным в [12]. В очаге произошел левый сбросо-сдвиг по плоскости юго-западного простирания, или правый сбросо-сдвиг по плоскости северо-западного простирания [11]. Надо отметить, что годом ранее, 17.07.2008 г., в 35 км к западу от эпицентра описываемого землетрясения, зарегистрировано крупное ($K_p=11.8$) землетрясение [19] с похожим механизмом очага [20], но с менее значительными компонентами сброса, позволяющими считать его чистым сдвигом [15].

Непосредственно в очаговой зоне землетрясения 2 июня в 2009 г. не зарегистрировано ни одного фор- или афтершока с $K_p \geq 8.6$. Ближайшими сейсмическими событиями этого энергетического уровня были землетрясения 5 февраля в $04^{\text{h}}29^{\text{m}}$ с $K_p=10.5$ и 7 августа в $03^{\text{h}}06^{\text{m}}$ с $K_p=11.1$ [6] в 35 и 75 км к западу от эпицентра 2 июня, а также три события с $K_p \approx 9$ и одно с $K_p \approx 10$, произошедшие в мае и декабре в 45–70 км к югу от рассматриваемого землетрясения (рис. 3). Для землетрясений 5 февраля в $04^{\text{h}}29^{\text{m}}$ и 7 августа в $03^{\text{h}}06^{\text{m}}$ определены механизмы очага (№ 3 и № 20 на рис. 4). Они близки и представляют собой взброс по плоскости северо-восточного простирания, или надвиг по плоскости запад–юго-западного простирания [11]. Отличие по типу механизма очага и значительное удаление этих двух толчков от эпицентра землетрясения 2 июня не позволяет считать их фор- и афтершоком этого землетрясения. К сожалению, для сейсмических событий, локализованных к югу от эпицентра рассматриваемого землетрясения, решений механизма очага получить не удалось.

Как обычно, активной на территории района № 1 оставалась вытянутая вдоль меридионального Каспийского разлома очаговая зона (рис. 3). Здесь зарегистрировано четыре землетрясения $K_p=10$ и более двадцати с $K_p=9$. Для трех землетрясений этой зоны (15 марта в 07^h36^m с $K_p=9.6$, 28 октября в 21^h54^m с $K_p=9.3$, 14 декабря в 20^h20^m с $K_p=10.1$ [6]) определены фокальные механизмы (№№ 10, 30, 33 [11]). В очаге землетрясения 15 марта (№ 10 на рис. 4) произошел сброс по крутой плоскости юго-западного простирания, или поддвиг с компонентой сдвига по пологой широтной плоскости. Западнее этого очага зарегистрировано землетрясение 14 декабря (№ 33 на рис. 4), подвижка в очаге которого представляла собой сброс по субмеридиональной плоскости. В северной части Каспийской зоны локализовано землетрясение 28 октября (№ 30 на рис. 4), в очаге которого реализовался левый сдвиг по пологой меридиональной плоскости, или сброс с компонентой правого сдвига по крутой широтной плоскости.

Вблизи западного побережья Каспийского моря, за пределами Балхано-Каспийского района, зарегистрировано три землетрясения: 4 июня в 14^h20^m с $K_p=10.9$, 7 августа в 13^h14^m с $K_p=9.4$, 28 сентября в 19^h29^m с $K_p=9.4$ [6]. Одно из них (4 июня) – ощутимое [14], для двух (4 июня и 28 сентября) – определены механизмы очагов [11]. Землетрясение 4 июня произошло в 75 км от столицы Азербайджана и ощущалось в г. Баку с интенсивностью $I=2-3$ балла. В [7] приводятся также сведения об ощутимости этого землетрясения в г. Махачкала ($\Delta=360$ км), но, согласно уравнению макросейсмического поля для землетрясений Туркменистана [6], балльность на таких расстояниях должна быть отрицательной. Механизм очага землетрясения 4 июня (№ 16 на рис. 4) представлял собой левый взбросо-сдвиг по меридиональной плоскости, или правый взбросо-сдвиг по широтной. В 90 км к югу от этого эпицентра локализовано землетрясение 28 сентября (№ 28 на рис. 4), в очаге которого произошел сброс по плоскости юго-западного или северо-восточного простирания [11].

Заметная сейсмическая активность наблюдалась в районе г. Балканабат, к югу от хр. Большой Балхан. В южных отрогах Большого Балхана 11 февраля в 03^h22^m зарегистрировано землетрясение с $K_p=9.8$. Оно имело большую глубину ($h=39$ км) и не ощущалось в ближайших населенных пунктах. Механизм очага представлял собой взброс по плоскости $NP1$ юго-западного простирания, или правый взбросо-сдвиг по плоскости $NP2$ юго-восточного простирания (№ 6 на рис. 4). Положение эпицентра и простирание плоскости $NP2$ совпадают с положением и ориентацией Копетдаг-Балханского глубинного разлома, поэтому решение для этой нодальной плоскости представляется предпочтительным.

К западу от хр. Большой Балхан произошло землетрясение 10 марта в 23^h59^m с $K_p=9.4$. В очаге реализовался левый взбросо-сдвиг по пологой плоскости $NP1$ северо-восточного простирания, или взброс с небольшой компонентой правого сдвига по крутой запад-северо-западной плоскости $NP2$ (№ 9 на рис. 4). По тем же причинам, что и для землетрясения 11 февраля, решение для нодальной плоскости $NP2$ представляется более предпочтительным с точки зрения тектонических особенностей региона.

В конце года к югу и юго-западу от хр. Большой Балхан зарегистрировано два ощутимых сейсмических события – 7 декабря в 16^h07^m с $K_p=9.6$ и 17 декабря в 13^h09^m с $K_p=9.9$ [14]. Они имели небольшие глубины – 12 и 13 км – и ощущались с интенсивностью 2 балла в г. Балканабат, от которого находились на расстояниях 10 и 21 км соответственно. Механизм очага первого из них (№ 32 на рис. 4) представлял собой взброс юго-восточного крыла разрыва по крутой плоскости северо-восточного простирания, или надвиг с небольшой компонентой правого сдвига северного крыла по широтной плоскости. В очаге второго (№ 34 на рис. 4) произошел сброс северного крыла разрыва по крутой широтной плоскости, или пологий сброс с компонентой левого сдвига южного крыла по плоскости юго-восточного простирания. 26 декабря в 08^h01^m зарегистрирован крупный ($K_p=9.3$) афтершок землетрясения 17 декабря. Типы движения в очаге основного толчка и афтершока близки – в очаге афтершока произошел сброс по субширотной плоскости (№ 36 на рис. 4).

В Эльбурском районе (№ 2) сейсмическая активность и число землетрясений с $K_p \geq 8$, равные $A_{10}=0.075$, $N_2=82$, повысились по сравнению с таковыми в 2008 г. ($A_{10}=0.05$, $N_2=60$ [15]). При этом выделившаяся на территории района сейсмическая энергия почти не изменилась по сравнению с аналогичным значением в 2008 г.

Повышенной сейсмичностью отличалась очаговая зона в районе иранского г. Шахруд, где 29 сентября в 06^h31^m произошло максимальное в районе № 2 землетрясение с $K_p=11.8$, сопровождавшееся серией фор- и афтершоков [6]. С января в радиусе 50 км от эпицентра главного сейсмического события зарегистрировано двенадцать толчков с $K_p \div 9$ и три с $K_p \div 10$. Среди афтершоков – пять с $K_p \div 9$ и по два с $K_p \div 10$ и 11. К сожалению, механизм очага главного толчка определить не удалось, но найдено решение механизма очага для афтершока с $K_p=10.6$, произошедшего 6 октября в 14^h42^m. В его очаге произошел взброс юго-восточного крыла разрыва по крутой плоскости северо-восточного простирания ($NP1$), или горизонтальный сдвиг по полого залегающей плоскости ($NP2$), ориентированной на северо-запад, с небольшой компонентой надвига (№ 29 на рис. 4). Учитывая северо-восточную ориентацию тектонических структур в месте очага, предпочтительной представляется подвижка по плоскости $NP1$.

Примечательно, что 19 декабря в 04^h10^m в 75 км юго-западнее эпицентра землетрясения 6 октября, на том же сейсмолинеamente северо-восточного простирания, произошло землетрясение с $K_p=10.4$. В очаге (№ 35 на рис. 4) реализовалась подвижка по плоскости того же простирания и падения, что и по плоскости $NP1$ у толчка 6 октября (№ 29 на рис. 4), но с противоположным знаком – сброс вместо взброса. Вторая возможная плоскость разрыва залегает полого, как и у землетрясения № 29, но ориентирована на запад–юго-запад, и подвижка по ней представляла собой пологий сброс. По тем же соображениям, что и для землетрясения 6 октября, следует отдать предпочтение крутой плоскости северо-восточного простирания, но при этом надо принять факт, что по одному и тому же разлому возможны разнонаправленные движения типа взброс и сброс.

В августе активизировался участок Хазарского разлома на южном побережье Каспийского моря, отделяющего горную дугу Эльбурса от Южно-Каспийского бассейна. Согласно [21], тип движений по Хазарскому разлому – надвиг южного крыла на северное, однако при анализе механизмов очагов Чалусского землетрясения, реализовавшегося по этому разлому 28 мая 2004 г. с $M_s=6.3$, и сопровождавших его толчков [22] получено подтверждение выводов [21] для главного толчка, при большом разнообразии механизмов очагов его фор- и афтершоков [22]. Подобная картина наблюдалась и для серии из четырех сейсмических событий с $K_p \div 10, 11$, реализовавшихся 13–15 августа 2009 г. на 100-км участке Хазарского разлома северо-западного простирания (рис. 3 и 4). В очаге землетрясения 13 августа в 13^h57^m с $K_p=10.6$ (№ 21 на рис. 4) произошел сброс с компонентой левого сдвига по крутой плоскости юго-западного простирания, или правый сдвиг по пологой плоскости северо-западного простирания. Ориентация возможных плоскостей разрыва в очаге землетрясения 14 августа в 23^h06^m, $K_p=9.7$ (№ 23 на рис. 4) совпадает с таковой для землетрясения 13 августа, но знаки подвижек – противоположные. По крутой плоскости юго-западного простирания произошел правый взбросо-сдвиг, а по пологой плоскости северо-западного простирания – левый сдвиг, в отличие от правого в очаге землетрясения 13 августа. Если принять за действующие северо-западные плоскости разрыва в очагах этих землетрясений, то нужно объяснить, почему при одном землетрясении наблюдается правый, а при другом – левый сдвиг. Одним из объяснений может быть искажение поля главных напряжений на разных участках зоны Хазарского разлома, состоящей из серии параллельных разломов. Другое предположение можно сделать с точки зрения взаимовлияния подвижек в очагах землетрясений 13–15 августа. После события № 21, за час до землетрясения № 23 на рис. 4, юго-восточнее эпицентров описанных событий произошло землетрясение 14 августа в 22^h04^m с $K_p=10.7$ (№ 22 на рис. 4). Обе возможные плоскости разрыва в очаге этого землетрясения ориентированы меридионально, вкост простирания Хазарского разлома. Движения представляли собой взброс или надвиг и могли послужить «упором», в результате которого подвижка при землетрясении № 23 поменяла знак по отношению к подвижке при землетрясении № 21. В очаге последнего события этой серии, 15 августа в 00^h28^m с $K_p=10.2$ (№ 24 на рис. 4), произошел сброс по плоскости юго-восточного простирания $NP1$, близкого к простиранию Хазарского разлома, или по субмеридиональной плоскости $NP2$.

Севернее иранского г. Горган, в районе туркмено-иранской границы, в течение года зарегистрировано три землетрясения с $K_p \div 10$ и пять – с $K_p \div 9$. Для двух землетрясений этой зоны определены механизмы очагов. Землетрясение 23 августа в 18^h51^m с $K_p=9.6$ произошло на территории Туркменистана вблизи побережья Каспийского моря (№ 25 на рис. 4). В очаге реализовался взброс по крутой меридиональной плоскости с компонентой правого сдвига ($NP1$), или

левый взбросо-сдвиг по пологой плоскости юго-восточного простирания ($NP2$). В 35 км к югу от эпицентра этого толчка, но уже на иранской территории, 3 декабря в 15^h05^m произошло землетрясение с $K_p=10.0$ (№ 21 на рис. 4). Движение в его очаге представляло собой сброс с компонентой левого сдвига по меридиональной плоскости, или сброс с компонентой правого сдвига по плоскости юго-восточного простирания.

В **Туркмено-Хорасанском районе (№ 3)** сейсмическая активность несколько повысилась ($A_{10}=0.074$ в 2009 г. (табл. 2) по сравнению с $A_{10}=0.066$ в 2008 г. [15]), тогда как выделившаяся сейсмическая энергия, наоборот, понизилась в 4 раза ($\Sigma E=0.9 \cdot 10^{12}$ Дж – в 2009 г. (табл. 2), по сравнению с $\Sigma E=3.9 \cdot 10^{12}$ Дж – в 2008 г. [15]) из-за отсутствия землетрясений 12-го энергетического класса, по сравнению с четырьмя толчками с $K_p \geq 11$ в 2008 г.

В начале года в южной части района № 3 зарегистрированы два землетрясения с $K_p \geq 10$, для которых определены механизмы очагов. Землетрясение 12 января в 18^h11^m с $K_p=10.5$ около иранского г. Хакнабад (№ 1 на рис. 4) представляло собой левый сдвиг с компонентой надвига северного крыла разрыва по пологой плоскости север-северо-западного ($NP1$) или взброс с компонентой правого сдвига по субмеридиональной плоскости ($NP2$). В очаге землетрясения 6 февраля в 15^h06^m с $K_p=10.4$ близ г. Кашмер (№ 4 на рис. 4) реализовался взброс по крутой субмеридиональной плоскости ($NP1$), или правый сдвиг с компонентой надвига северного крыла разрыва по пологой широтной плоскости ($NP2$) и Торбеде-Хейдерие. Учитывая ориентацию близлежащего сейсмолинеамента, для Хакнабадского землетрясения следует выбрать нодальную плоскость $NP1$, а для Кашмерского – $NP2$ в качестве действующих плоскостей разрыва.

В районе г. Себзевар, Иран, 23 февраля в 19^h28^m и 24 февраля в 00^h40^m зарегистрированы землетрясения одинаковой энергии – с $K_p=11.0$ и $K_p=10.8$ соответственно (№ 7 и 8 на рис. 4). Решения механизмов очагов для них абсолютно идентичны – взброс по меридиональной плоскости.

Наибольшая в районе № 3 сейсмическая активность наблюдалась между населенными пунктами Туркменистана Магтымгулы, Бахарлы и иранским г. Боджнурд (рис. 3). Из семи зарегистрированных на территории района № 3 землетрясений с $K_p \geq 11$ три произошло именно здесь. Начало активизации сейсмичности этой зоны положило землетрясение 6 февраля в 18^h14^m с $K_p=11.1$, произошедшее в 20 км к юго-востоку от пос. Бахарлы, в зоне Арчман-Нохурского тектонического узла пересечения Копетдаг-Балханского и Гермабского разломов (рис. 3). В очаге произошел сброс по плоскости юго-восточного или меридионального простирания, составляющей угол с горизонтом 46° или 50° соответственно (№ 5 на рис. 4). Этот очаг оставался активным в течение всего года, генерируя афтершоки вплоть до $K_p \geq 10$. Механизм очага одного из афтершоков, 6 апреля в 03^h10^m с $K_p=9.7$ (№ 11 на рис. 4), представлял собой взброс южного крыла разрыва по крутой широтной плоскости $NP1$, или правый сдвиг северного крыла с компонентой надвига по пологой плоскости $NP2$ северо-западного простирания.

Вместе с тем сразу после события 6 февраля отмечена миграция эпицентров землетрясений на 100 км западнее, на участок между поселком Магтымгулы (ранее – «Кара-Кала») и селом Кёнекесир (рис. 3). В районе пос. Магтымгулы расположен другой узел пересечения сейсмолинеаментов северо-западного и северо-восточного простирания, и именно здесь 17 февраля в 17^h57^m произошло землетрясение с $K_p=10.9$, положившее начало миграции эпицентров в обратном направлении, на юго-восток, где произошло два крупных афтершока – 17 февраля в 18^h03^m с $K_p=10.4$ и 5 апреля в 05^h27^m с $K_p=9.8$, а также серия более слабых сейсмических событий, включая пять афтершоков с $K_p \geq 9$. В мае сейсмическая активность на участке Магтымгулы–Кёнекесир на уровне с $K_p \geq 8.6$ прекратилась. К сожалению, решения механизмов очагов для землетрясений этой очаговой зоны отсутствуют.

Кроме того, с марта наблюдалась миграция землетрясений в южном направлении от очага 6 февраля, проявившаяся в возникновении ряда землетрясений с $K_p=9-10$ в меридионально вытянутой сейсмоактивной зоне между пос. Бахарлы и иранским г. Боджнурд (рис. 3). В центре этой зоны 11 сентября в 20^h52^m, в 35 км к северу от г. Боджнурд, произошло землетрясение с $K_p=10.9$ (№ 26 на рис. 4). В очаге реализовался левый сдвиг по пологой широтной плоскости, или сброс с компонентой правого сдвига по вертикальной меридиональной плоскости. Совокупность эпицентров землетрясений в этой зоне за год образовала меридионально вытянутое облако, совпадающее по положению и ориентации с афтершоковой зоной разрушительного Боджнурдского землетрясения 04.02.1997 г. с $MS=6.6$, $I_0=8$ [23], а также с конфигурацией области максимальной сейсмической активности в Туркмено-Хорасанском районе в течение мно-

гих лет после Боджнурдского землетрясения. Напомним, что авторы [23] объясняли меридиональную ориентацию облака афтершоков Боджнурдского землетрясения, не совпадающую с ориентацией первой изосейсты, с существованием между г. Боджнурдом и пос. Бахарлы меридионального разлома [24], пересекающего в эпицентре главного толчка Внутрикопетдагский глубинный разлом, вдоль которого произошла основная подвижка.

Два крупных землетрясения зарегистрированы в апреле в западной части района № 3, вблизи иранских селений Зард и Голидах (№ 12 и 13 на рис. 4 соответственно). В очаге первого из них, 7 апреля в 06^h00^m с $K_p=11.1$ реализовался левый сдвиг по плоскости юго-западного простирания, или правый сдвиг по плоскости северо-западного простирания. Подвижка при землетрясении 15 апреля в 07^h53^m с $K_p=10.5$ около сел. Голидах представляла собой взброс по крутой плоскости северо-восточного простирания, или правый сдвиг по пологой плоскости северо-западного простирания.

Самым заметным сейсмическим событием года на территории Туркмено-Хорасанского района явилось землетрясение 31 декабря 2009 г. в 23^h16^m с $K_p=10.9$. Оно произошло в 6 км от сейсмической станции «Ашхабад» и ощущалось жителями столицы Туркменистана с интенсивностью $I=3-4$ балла [14]. В квартирах дребезжали посуда и мебель, колебания были вертикальными и высокочастотными. Большинство людей, которые успели заснуть после празднования Нового года, проснулись, многие в панике покинули дома.

В течение многих лет ранее район г. Ашхабада характеризовался умеренной сейсмичностью на уровне $K_p < 10$, поэтому землетрясение в ночь с 31 декабря 2009 г. на 1 января 2010 г. с $K_p=10.9$ явилось неожиданностью для жителей Ашхабада. В течение 2009 г. в радиусе 25 км от его эпицентра регистрировались слабые толчки с $K_p < 8$ (рис. 7), причем во второй половине года сейсмичность усилилась. В 2010 г. в этой зоне максимальное событие имело энергетический класс $K_p=8.5$. На рис. 7 четко прослеживается группирование сейсмических событий вдоль линии, секущей Копетдаг-Балханский линеамент. Возможно, здесь расположен локальный разлом, с которым связано развитие процесса в очаге землетрясения 31 декабря. К сожалению, ни для главного толчка, ни для сопровождавших его сейсмических событий механизм очага определить не удалось.

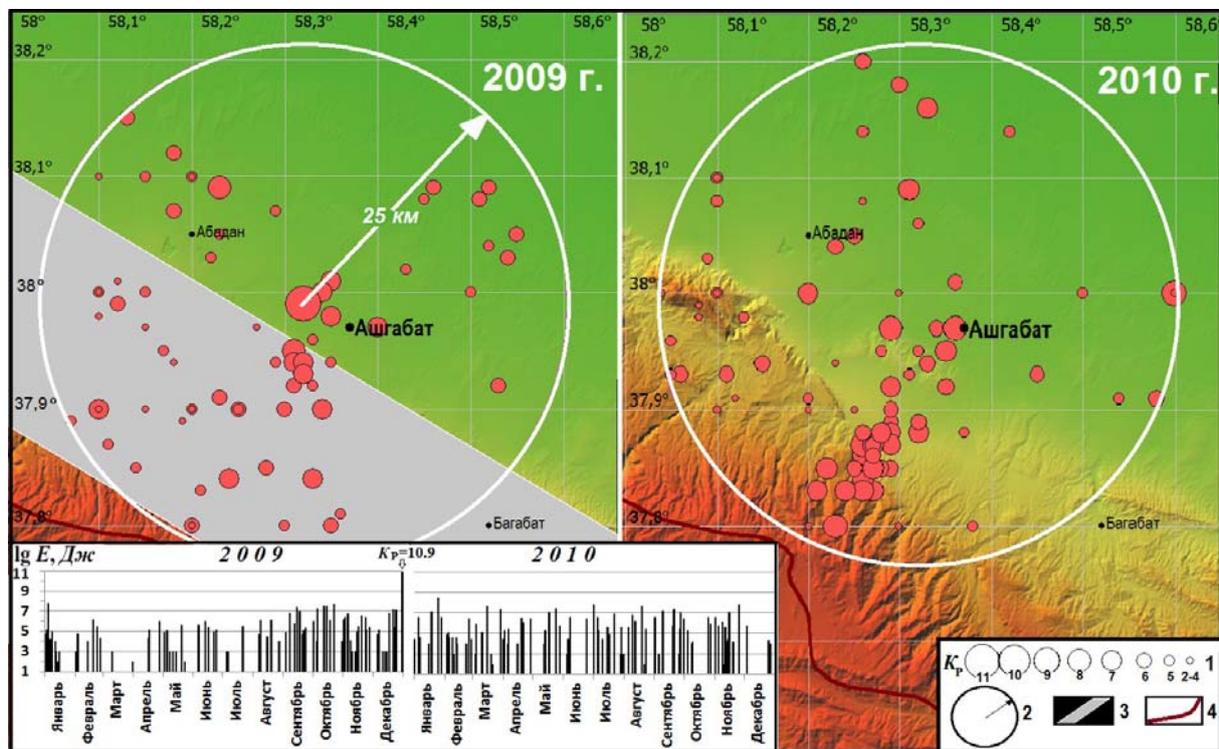


Рис. 7. Сейсмичность в зоне радиусом 25 км от эпицентра Ашхабадского землетрясения 31 декабря 2009 г. в 23^h16^m с $K_p=10.9$ в 2009 и 2010 гг.

1 – энергетический класс K_p ; 2 – район выборки радиусом 25 км; 3 – положение Копетдаг-Балханского сейсмолинеамента; 4 – государственная граница.

В Восточном Туркменистане (№ 4) число зарегистрированных землетрясений с $K_p \geq 8$ и выделившаяся в 2009 г. сейсмическая энергия ($N_\Sigma=21$, $\Sigma E=0.5 \cdot 10^{12}$ Дж) остались на уровне характеристик ($N_\Sigma=21$, $\Sigma E=0.46 \cdot 10^{12}$ Дж) в 2008 г. [15]. При этом зарегистрировано шесть землетрясений с $K_p \geq 11$ – вдвое больше, чем в 2008 г.

Самое крупное ($K_p=11.1$) землетрясение в районе № 4 произошло 14 июня в 10^h32^m вблизи (20 км) г. Серахс на туркмено-иранской границе (№ 19 на рис. 4) и ощущалось некоторыми жителями Серахса с интенсивностью $I=2$ балла [14]. В очаге реализовался сброс южного крыла разрыва по крутой широтной плоскости, или северного крыла по пологой плоскости той же ориентации.

В районе афганского сел. Алмар 6 июня в 07^h22^m зарегистрировано близкое по энергии ($K_p=11.0$) землетрясение. Для него определен механизм очага (№ 17 на рис. 4), представлявший собой взброс с компонентой левого сдвига по крутой плоскости близмеридионального простирания, или правый сдвиг по пологой плоскости юго-западного простирания.

В 75 км к северу, на территории Туркменистана, 14 мая в 14^h57^m произошло землетрясение с $K_p=10.7$, а на следующий день, 15 мая в 02^h21^m, зарегистрирован его афтершок с $K_p=9.6$. Для афтершока найдено решение механизма очага (№ 14 на рис. 4). В очаге реализовался сброс северного крыла разрыва по пологой широтной плоскости, или сброс с компонентой правого сдвига по крутой меридиональной плоскости для восточного крыла.

На территории Узбекистана, в 45 км к юго-западу от г. Карши, 15 июня в 01^h40^m реализовалось землетрясение с $K_p=10.6$. Механизм очага не определен. Но для более слабого землетрясения 27 сентября в 08^h45^m с $K_p=9.8$, локализованного на узбекской территории в районе г. Навои, удалось определить механизм очага (№ 27 на рис. 4). В очаге произошел сброс западного крыла разрыва по крутой меридиональной плоскости, или правый сдвиг-сброс северного крыла по пологой субширотной плоскости.

Традиционно активной в 2009 г. оставалась Газлийская очаговая зона, где зарегистрировано землетрясение 24 сентября в 14^h46^m с $K_p=10.8$, а также шесть землетрясений с $K_p \geq 10$ и одно – с $K_p \geq 9$. Для землетрясения, произошедшего в Газлийской зоне 1 февраля в 22^h50^m с $K_p=10.3$, определен механизм очага (№ 2 на рис. 4). Подвижка в его очаге типа взброс, с компонентой левого сдвига северного крыла разрыва по крутой плоскости юго-западного простирания ($NP1$), или правый сдвиг с компонентой взброса южного крыла по пологой плоскости восток-юго-восточного простирания ($NP2$). Учитывая приуроченность данного очага к сейсмолинеamentу северо-восточного простирания (рис. 4), предпочтительной представляется nodальная плоскость $NP1$.

По Копетдагу в целом, несмотря на некоторое увеличение выделившейся сейсмической энергии после ее спада в течение трех предыдущих лет, сейсмическая активность и число зарегистрированных землетрясений с $K_p \geq 7.6$ заметно снизились. Это связано как с сейсмическим затишьем в Балхано-Каспийском районе, вызванным подготовкой землетрясения 2 июня с $K_p=12.7$ и его слабой афтершоковой активностью, так и с недостатком землетрясений 9-го и 12-го энергетических классов в регионе.

Л и т е р а т у р а

1. Сарыева Г.Ч. (ИС АНТ), Петрова Н.В. (ГС РАН), Безменова Л.В. (ИС АНТ) (сост.). Сейсмические станции Копетдага и их параметры в 2009 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., Халлаева А.Т., Клочков А.В., Дурасова И.А., Клычева Э.Р., Эсенова А., Петрова Н.В. Мустафаев Н.С., Артёмова Е.В. (сост.). Каталог землетрясений Копетдага за 2009 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).

7. **International Seismological Centre. On-Line Bulletin** – 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, 2004 год. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – 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. **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.
11. **Петров В.А. (ГО «Борок» ИФЗ РАН), Безменова Л.В. (ИС АНТ) (отв. сост.), Аннаорова Т.А. (ИС АНТ), Петрова Н.В. (ГС РАН) (сост.)**. Каталог механизмов очагов землетрясений Копетдага за 2009 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
12. **Bulletin of the International Seismological Centre / ISC Bulletin / Focal mechanisms / URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/fmechanisms/>**.
13. **Мострюков А.О., Петров В.А.** Каталог механизмов очагов землетрясений, 1964–1990 // Материалы мирового центра данных. – М.: 1994. – 87 с.
14. **Сарыева Г.Ч. (отв. сост.), Артёмов Е.В. (сост.)**. Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений в населенных пунктах Копетдага в 2009 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
15. **Аннаорова Т.А., Безменова Л.В., Петрова Н.В., Сарыева Г.Ч., Чарыев М.М.** Копетдаг // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 111–118.
16. **Уломов В.И.** Актуализация нормативного сейсмического районирования в составе единой информационной системы «Сейсмобезопасность России» // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2012. – 39. – № 1. – С. 5–38.
17. **Михайлова Р.С.** Увеличение во времени области подготовки сильных землетрясений // Изв. АН Тадж.ССР. – Отд. ф.-м. и г.-хим. наук. – 1977. – № 1. – С. 39–48.
18. **Михайлова Р.С.** Динамика развития областей сейсмических затиший и прогноз сильных землетрясений // Физики Земли. – 1980. – № 10. – С. 12–22.
19. **Сарыева Г.Ч. (отв. сост.), Тачов Б., Ключкова В., Халлаева А.Т., Дурасова И.А., Эсенова А., Мустафаев Н.С. (ИС АНТ); Петрова Н.В., Артёмов Е.В. (ГС РАН)**. Каталог землетрясений Копетдага за 2008 г. ($N=246$) // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – (На CD).
20. **Аннаорова Т.А., Безменова Л.В. (ИС АНТ); Петрова Н.В. (ГС РАН); Петров В.А. (ГО «Борок» ИФЗ РАН) (отв. сост.)**. Каталог механизмов очагов землетрясений Копетдага за 2008 г. ($N=13$) // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – (На CD).
21. **Berberian M.** Historical Seismicity (pre 1900) Map of Iran. Scale 1:5000000 // Geological Survey of Iran, Tectonic-Seismotectonic Research Section.– 1977.
22. **Петрова Н.В., Михайлова Р.С.** Чалусское землетрясение 28 мая 2004 г. с $M_S=6.3$, $I_0=8$ (Копетдаг) // Землетрясения Северной Евразии в 2004 году. Сильные и ощутимые землетрясения. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 297–302.
23. **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 $M_S=6.6$, $I_0=8$ (Копетдаг) // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. – Обнинск: ГС РАН, 2003. – С. 199–218.
24. **Clapp F.G.** Geology of Eastern Iran // Bull. Geol. Soc Am. – 1940. – 51. – N 1. – P. 35–39.