

УДК 550.348 (575.3)

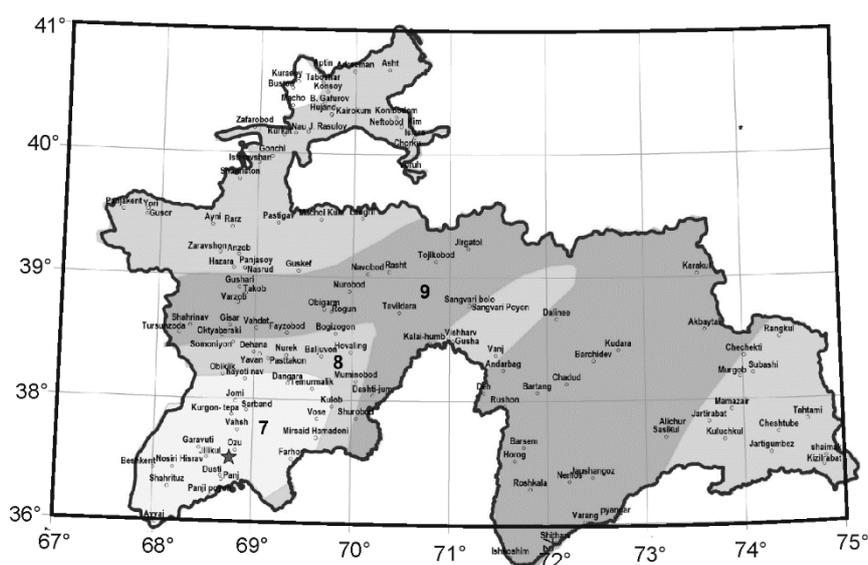
**КОЛХОЗАБАДСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 24 АПРЕЛЯ 2020 г. с  $K_p=11.4$ ,** **$M_{WGCMT}=4.6$ ,  $I_0=6$  баллов (ТАДЖИКИСТАН)****Р.У. Джураев***Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАН Таджикистана,  
г. Душанбе, dhuraev52@mail.ru*

**Аннотация.** Представлены результаты полевого обследования эффектов 6-балльного землетрясения 24 апреля 2020 г. с  $K_p=11.4$ ,  $M_{WGCMT}=4.6$ , произошедшего в юго-западной части Таджикистана в составе роя из 25 землетрясений и являющегося максимальным событием роя. Составлена карта изосейст, определены макросейсмические параметры и приуроченность землетрясения к геологическим структурам района. Установлена действующая в очаге плоскость разрыва, совпадающая с прогибанием и падением Каратауского разлома. Показано, что 6-балльный макросейсмический эффект мог быть результатом суммарного воздействия событий роя 24 апреля, несколько из которых близки по энергии к максимальному толчку. Рассмотрены значения глубин максимального толчка 24 апреля и событий сопровождающего его роя землетрясений, установлена их связь с глубинным строением района.

**Ключевые слова:** землетрясение, рой землетрясений, эпицентр, макросейсмические параметры, последствия землетрясения, карта изосейст, глубинное строение.

**Для цитирования:** Джураев Р.У. Колхозабадское землетрясение 24 апреля 2020 г. с  $K_p=11.4$ ,  $M_{WGCMT}=4.6$ ,  $I_0=6$  баллов (Таджикистан) // Землетрясения Северной Евразии. – 2024. – Вып. 27 (2020). – С. 301–312. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.27> EDN: TMGSHG

**Введение.** На территории Таджикистана в среднем каждые 5–10 лет происходит как минимум одно сильное коровое землетрясение с интенсивностью в эпицентре  $I_0 \geq 6$  баллов, которое в той или иной степени наносит ущерб народному хозяйству республики. Большинство из них приурочены к наиболее активным глубинным разломам (Южно-Ферганский, Гиссаро-Кокшаальский, Илякско-Вахшский, Дарваз-Каракульский и др.), разделяющим крупные геоструктурные единицы. Но иногда они происходят и на малоактивных в сейсмическом отношении территориях, где подобные крупные тектонические разломы отсутствуют. К ним относится юго-западная часть Таджикской депрессии, которая, согласно карте сейсмического районирования Таджикистана на рис. 1, относится к 7-балльной зоне [1].



**Рис. 1.** Карта сейсмического районирования Таджикистана [1] с зонами максимальных сотрясений 7, 8 и 9 баллов

Звездочкой отмечен макросейсмический эпицентр Колхозабадского землетрясения (табл. 1).

Именно в 7-балльной зоне на юго-западе Таджикистана, в 125 км к югу от г. Душанбе, на территории района Джамолидина Балхи (бывший Колхозабадский) 24 апреля 2020 г. в 22<sup>h</sup>32<sup>m</sup> по Гринвичу (25 апреля в 03<sup>h</sup>32<sup>m</sup> местного времени) произошло землетрясение с  $M_{WGCMT}=4.6$ ,  $K_p=11.4$  и интенсивностью сотрясений в трех ближайших населенных пунктах  $I_i=6$  баллов по шкале MSK-64 [2].

По данным Геофизической службы Национальной академии наук Таджикистана (ГС НАНТ) [3], эпицентр землетрясения находился вблизи границы Таджикистана и Афганистана с координатами:  $\varphi=37.28^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=68.97^\circ\text{E}$  и глубиной  $h=11$  км. Энергетический класс  $K_p=11.4$  соответствует расчетной магнитуде  $M^p=4.1$  по формуле Т.Г. Раутиан  $M=(K_p-4)/1.8$  [4]. Другие решения параметров основного Колхозабадского подземного толчка 24 апреля 2020 г. в 22<sup>h</sup>32<sup>m</sup> представлены в табл. 1 по данным разных сетей сейсмических станций и обрабатывающих центров.

**Таблица 1.** Основные параметры Колхозабадского землетрясения 24 апреля 2020 г. в 22<sup>h</sup>32<sup>m</sup> с  $K_p=11.4$ ,  $M_{WGCMT}=4.6$  по данным различных сейсмологических центров

Агентство	$t_0$ , ч мин с	$\delta t_0$ , с	Гипоцентр						Класс/Магнитуда	Источник
			$\varphi^\circ$ , N	$\Delta\varphi$ , км	$\lambda^\circ$ , E	$\Delta\lambda$ , км	$h$ , км	$\delta h$ , км		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ГС НАНТ	22 32 46.65	0.27	37.2780	2.28	68.9753	2.28	11	–	$K_p=11.4$ ; $M^p=4.1$	[3]
ИГССС	Макросейс. эпицентр	–	37.50	–	68.80	–	–	–	–	Наст. статья
MOS	22 32 48.60	1.08	37.5410	6.40	68.7400	3.70	11	–	$M_S=4.1/10$ ; $m_b=4.6/25$	[5]
ISC	22 32 49.57	0.32	37.5312	5.10	68.7317	4.16	10f	1.8	$M_S=3.9/70$ ; $m_b=4.6/110$ $h_{pp}=18$ км	– “ –
NNC	22 32 44.48	2.48	37.0988	20.1	68.3098	15.0	6	–	$K_p=10.9$ , $m_b=5.0$ , $mpv=4.7$	– “ –
IDC	22 32 46.03	0.65	37.1878	13.5	68.8592	10.2	0f	–	$M_S=3.9/60$ ; $m_b=4.1/26$	– “ –
NEIC	22 32 50.43	1.21	37.5452	11.6	68.7379	5.60	10f	–	$M_{wr}=4.8/15$ ; $m_b=4.6/112$	– “ –
GCMT	22 32 51.40	0.30	37.50	–	68.30	–	12f	–	$M_W=4.6/70$	– “ –

Примечание. ГС НАНТ – Геофизическая служба Национальной академии наук Таджикистана; ИГССС – Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной академии наук Таджикистана; MOS – Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба РАН»; ISC – Международный сейсмологический центр; NNC – Национальный ядерный центр, Казахский национальный центр данных, Алматы, Казахстан; IDC – International Data Centre, Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty (CTBT), Vienna, Austria; NEIC – National Earthquake Information Center; Geological Survey, Denver, USA; GCMT – Global CMT Project, Lamont Doherty Earth Observatory, Columbia University, Palisades, USA; f – фиксированная глубина.

Координаты эпицентра основного толчка 24 апреля в 22<sup>h</sup>32<sup>m</sup>, приведенные в табл. 1, показаны на рис. 2. За исключением данных ГС НАНТ и IDC, эпицентр по данным разных агентств расположен на территории Таджикистана в 15–18 км севернее государственной границы. Разные типы магнитуд варьируют от 4.1 до 4.8 (табл. 1), а магнитуда по поверхностным волнам ( $M_S$ ,  $M_s$ ), используемая в уравнениях макросейсмического поля, – от 3.9 до 4.1.

Используя макросейсмическую формулу из [6]:

$$I_0 = bM - v \lg h + c \quad (1)$$

при  $M_S = M^p_{ГС НАНТ} = 4.1$ ,  $h = 10$  км и средних значениях коэффициентов макросейсмического поля по [7] для Таджикской депрессии ( $b = 1.44$ ,  $v = 3.9$ ,  $c = 3.4$ ), получим расчетную интенсивность  $I_0$  в эпицентре 5.4 балла, что на 0.6 балла ниже наблюдаемой в эпицентре интенсивности сотрясений (6 баллов). Возможно, 6-балльный эффект является результатом не одного толчка, а серии (роя) землетрясений 24 апреля.

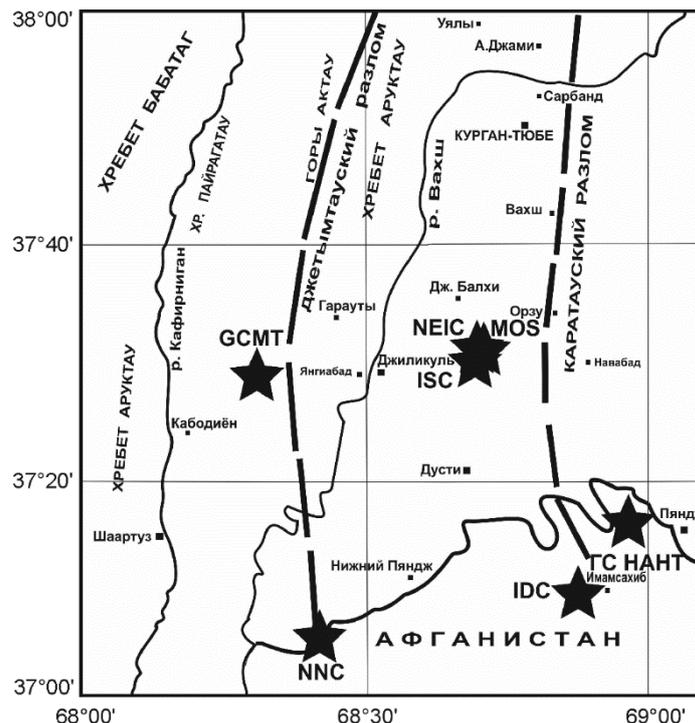


Рис. 2. Расположение эпицентра землетрясения 24 апреля в 22<sup>h</sup>32<sup>m</sup> с  $K_p=11.4$ ,  $M_{WGCMT}=4.6$  по данным разных сейсмологических агентств из табл. 1

**Рой землетрясений 24 апреля.** Главный толчок в 22<sup>h</sup>32<sup>m</sup> с максимальными в табл. 1 моментными магнитудами –  $M_{WGCMT}=4.6/70$  и  $M_{NEIC}=4.8/15$  – сопровождался довольно редким явлением в виде интенсивного краткосрочного (за одни сутки) роя из 25 землетрясений с  $K_p=8.6–11.4$  (табл. 2, рис. 3), причем одинаковый с главным толчком уровень энергетического класса имеют еще два толчка, произошедшие до него – в 03<sup>h</sup>34<sup>m</sup> и в 15<sup>h</sup>01<sup>m</sup>, но с меньшими магнитудами  $M_s$  ISC и, соответственно, с меньшей интенсивностью сотрясений в эпицентре  $I_0$ , равной 5 и 4–5 баллам (табл. 2). Все гипоцентры роя имеют глубины от 6 до 19 км (табл. 2).

Вне суточного интервала 24 апреля в годовом каталоге землетрясений за 2020 г. [3] выявлены лишь два события с  $K_p=10.1$  и 9.0 к северо-западу от всех других толчков роя (рис. 3). Они на полгода удалены по времени – 22 октября в 14<sup>h</sup>22<sup>m</sup> и 5 ноября в 11<sup>h</sup>59<sup>m</sup> (табл. 2) – и потому относятся скорее к сейсмическому фону, чем к рою.

Суммарная энергия роя составляет  $\Sigma E=1.42 \cdot 10^{12}$  Дж, что соответствует  $K_p=\lg E=12.15$ , или  $M^p=(K_p-4)/1.8=4.53$ . Эта магнитуда, согласно ур. (1), при  $h=10$  км и коэффициентах  $b$ ,  $v$ ,  $c$  для Таджикской депрессии [7], дает суммарный макросейсмический эффект  $I_0=6$  баллов, что соответствует наблюдаемому 6-балльному эффекту в ближайших селах.

Таблица 2. Основные параметры событий роя землетрясений 24 апреля 2020 г. в районе Колхозабада по данным ГС НАНТ

№	Дата, дн мес	$t_0$ , ч мин с	$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E	$h$ , км	$K_p$	$M_s$ [5]	$m_b$ [5]	$I_0$ , балл
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	24.04	01 56 24	37.49	68.81	15	8.8	–	–	–
2	– “ –	03 31 42	37.41	68.92	6	9.3	–	3.5	–
3	– “ –	03 33 22	37.41	68.90	10	11.1	–	4.3	–
4	– “ –	03 34 23	37.43	68.88	10	11.4	3.6	4.5	5
5	– “ –	03 40 49	37.31	68.93	11	9.2	–	–	–
6	– “ –	03 47 04	37.33	68.93	17	8.6	–	–	–
7	– “ –	03 51 46	37.34	68.93	12	9.0	–	–	–
8	– “ –	05 37 36	37.37	68.89	10	8.6	–	–	–
9	– “ –	05 37 55	37.44	68.92	11	8.7	–	–	–
10	– “ –	06 31 08	37.33	68.92	13	8.8	–	–	–

№	Дата, дн мес	$t_0$ , ч мин с	$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E	$h$ , км	$K_p$	$M_s$ [5]	$m_b$ [5]	$I_0$ , балл
11	– “ –	15 01 25	37.39	68.92	13	11.4	3.5	4.4	4–5
12	– “ –	15 08 45	37.29	68.89	12	10.1	–	3.6	3–4
13	– “ –	15 18 52	37.44	68.89	7	8.8	–	–	–
14	– “ –	15 20 33	37.43	68.91	12	9.9	3.0	3.8	–
15	– “ –	15 41 14	37.34	68.85	19	8.6	–	–	–
16	– “ –	15 43 41	37.38	68.91	15	8.9	–	–	–
17	– “ –	15 58 46	37.36	68.88	12	8.6	–	–	–
18	– “ –	18 29 52	37.32	68.87	13	8.6	–	–	–
19	– “ –	20 27 37	37.38	68.93	12	11.1	3.3	4.3	4
20	– “ –	21 22 47	37.32	68.95	10	11.2	3.5	3.9	4
21	– “ –	22 22 19	37.43	68.87	15	9.2	–	3.4	–
22	<b>гл. тол.</b>	<b>22 32 46</b>	<b>37.27</b>	<b>68.97</b>	<b>11</b>	<b>11.4</b>	<b>3.9</b>	<b>4.6</b>	<b>6</b>
23	– “ –	22 43 16	37.22	68.92	11	11.2	3.3	4.2	4
24	– “ –	22 46 30	37.44	68.87	13	10.7	–	3.9	3–4
25	– “ –	23 07 47	37.33	68.94	10	8.9	–	–	–
26	22.10	14 22 02	37.59	68.73	19	10.1	2.9	3.6	–
27	05.11	11 59 09	37.53	68.74	20	9.0	–	–	–

Примечание. Параметры в графах 2–7 соответствуют таковым в [3].

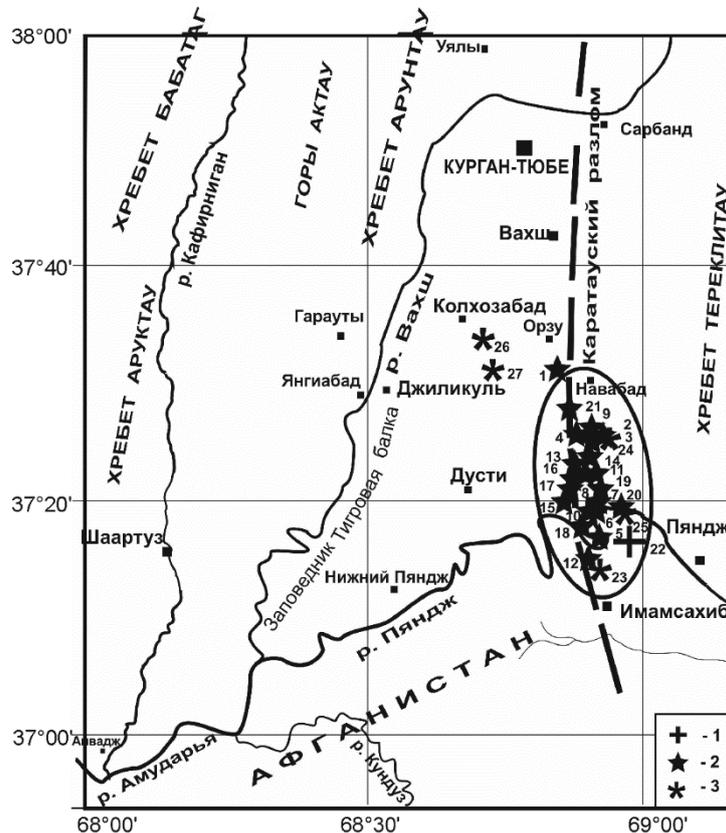


Рис. 3. Схема расположения эпицентров роевых толчков до и после главного из них 24 апреля 2020 г. в 22<sup>h</sup>32<sup>m</sup> с  $K_p=11.4$ ,  $M_{WGSMT}=4.6$  по данным ГС НАНТ

1 – эпицентр основного толчка роя; 2, 3 – предшествующие и последующие толчки, цифра рядом со значком соответствует номеру толчка в табл. 2.

Эпицентры толчков роя расположены западнее хр. Тереклитуа (восточнее долины р. Вахш) и сгруппированы в пределах эллипса, вытянутого в субмеридиональном направлении вдоль Каратауского разлома на 43 км. Естественно, все они несколько усугубили полученные повреждения жилых домов при основном подземном толчке и были учтены при макросейсмическом обследовании плейстосейстовой области. Следует отметить, что, согласно данным макросейми-

ческого обследования последствий землетрясения, основной толчок и основные повреждения жилых домов в эпицентральной зоне произошли именно 24 апреля в 22<sup>h</sup>32<sup>m</sup>46<sup>s</sup> (25 апреля в 03<sup>h</sup>32<sup>m</sup>46<sup>s</sup> местного времени).

**Макросейсмические данные.** Данные о проявлениях Колхозабадского землетрясения собраны в 31 населенном пункте Хатлонской области (табл. 3). По результатам составлена таблица макросейсмических данных и карта изосейст данного сейсмического события (рис. 4).

**Таблица 3.** Макросейсмические данные о проявлениях Колхозабадского землетрясения 24 апреля 2020 г. с  $K_p=11.4$ ,  $M_{WGCMT}=4.6$

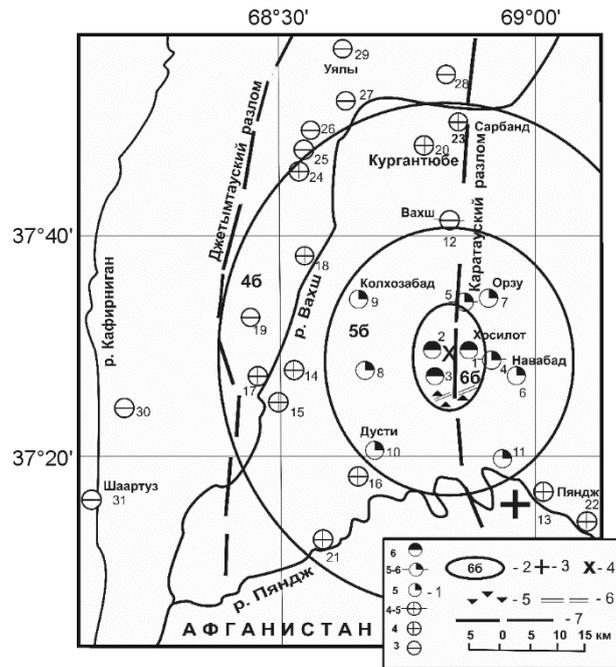
№	Пункт	$\Delta$ , км	$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E	№	Пункт	$\Delta$ , км	$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E
<b>6 баллов</b>					15	уч. 8 Марта	24.1	37.47	68.53
1	Хосилот	3.7	37.51	68.84	16	Риссовхоз	26.8	37.29	68.65
2	уч. им. Кирова	1.8	37.50	68.78	17	Янгиабод	26.5	37.49	68.50
3	уч. Обигарм	2.8	37.48	68.78	18	Ақджар	27.7	37.67	68.57
<b>5–6 баллов</b>					19	Гарауты	31.8	37.57	68.45
4	уч. им. Ленина	6.3	37.71	68.87	20	Курган-Тюбе	36.7	37.83	68.78
5	свх Гулистон	5.6	37.55	68.80	21	Нижн. Пяндж	37.7	37.21	68.58
<b>5 баллов</b>					22	Пяндж	39.2	37.24	69.10
6	Навабад	7.1	37.49	68.88	23	Сарбанд	42.5	37.87	68.92
7	Орзу	6.9	37.56	68.82	24	Таджикабад	39.1	37.81	68.59
8	уч. им. Калинина	14.2	37.49	68.64	<b>3 балла</b>				
9	Колхозабод (новое название Джамолидин Балхи)	15.9	37.59	68.66	25	Хумдон	42.4	37.85	68.61
10	Дусты	20.2	37.35	68.67	26	Мехнатобод	45.1	37.88	68.62
11	ПМК	20.7	37.34	68.92	27	Кызыл-Кала	45.1	37.89	68.66
<b>4–5 баллов</b>					28	А. Джоми	50.0	37.95	68.80
12	Вахш	23.5	37.71	68.83	29	Уялы	54.1	37.98	68.70
<b>4 балла</b>					30	Кабодиён	55.8	37.40	68.18
13	Пограничник	23.0	37.34	69.01	31	Шааргуз	64.1	37.26	68.14
14	Джиликуль	23.8	37.49	68.53					

$\Delta$  – все расстояния измерены от макросейсмического эпицентра с  $\varphi_M=37.50^\circ N$ ,  $\lambda_M=68.80^\circ E$ .

Макросейсмический эпицентр основного толчка с координатами  $\varphi_M=37.50^\circ N$ ,  $\lambda_M=68.80^\circ E$  расположен в 16 км юго-восточнее пос. Колхозабод (новое название Джамолидин Балхи) в пределах юго-западного склона хр. Териклитау (во впадине между горами Кызылтумшук и Кичикдонгуз Адыр).

С наибольшей интенсивностью, равной 6 баллам, землетрясение проявилось в селениях уч. им. Кирова, Хосилот и уч. Обигарм района Джамолидина Балхи (бывший Колхозабадский). В этих селениях жилые дома и общественные здания в основном глинобитного строения, реже из кирпича-сырца. Фундаменты имеют лишь относительно новые постройки.

В результате землетрясения во многих жилых глинобитных домах этих селений образовались сквозные трещины на стенах, преимущественно в угловых сопряжениях стен, наблюдалось выпадение больших кусков штукатурки, произошло значительное расширение старых трещин. В отдельных домах этого типа (преимущественно старой постройки) образовались сквозные трещины со смещением несущих стен в верхней части, обрушением частей стен и углов. Намного меньшие повреждения в виде тонких трещин на стенах в угловых сопряжениях стен с выпадением небольших кусков штукатурки получили относительно новые дома, построенные на хорошем фундаменте. Южнее уч. Обигарм, на бортах сая (оврага) и на грунтовой дороге, проходящей вдоль него, образовались трещины в грунте. Длина трещин – от 20 до 40 м с шириной раскрытия от 0.2 до 0.5 см. Произошли многочисленные, небольшие по объемам, обвалы сухих лессовых пород с вертикальных откосов по бортам сая. Характерные повреждения жилых домов в селениях уч. им. Кирова, уч. Обигарм и Хосилот представлены на фотографиях (рис. 5–8).

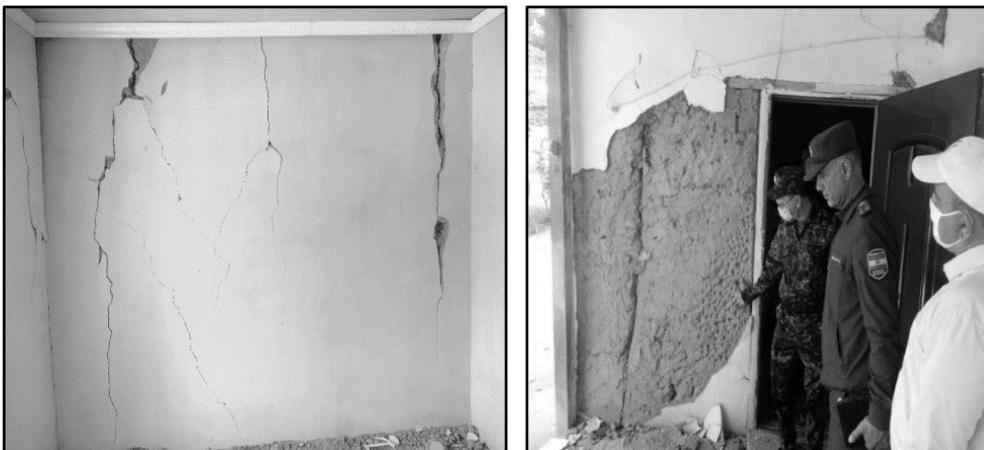


**Рис. 4.** Карта изосейст Колхозабадского землетрясения 24 апреля 2020 г. с  $K_p=11.4$ ,  $M_{WGCMT}=4.6$

1 – баллы; 2 – изосейста балльности; 3 – эпицентр по инструментальным данным ГС НАНТ; 4 – макросейсмический эпицентр; 5 – обрушение сухих вертикальных откосов в небольших оврагах, сложенных лессами; 6 – трещины в грунте; 7 – линии Каратауского и Джетымтауского разломов.



**Рис. 5.** Сквозные трещины и выпадение больших кусков штукатурки на стенах глинобитного жилого дома



**Рис. 6.** Сквозные трещины на стенах относительно нового жилого дома и выпадение больших кусков штукатурки на стенах старого глинобитного дома без фундамента (перекос входной двери)

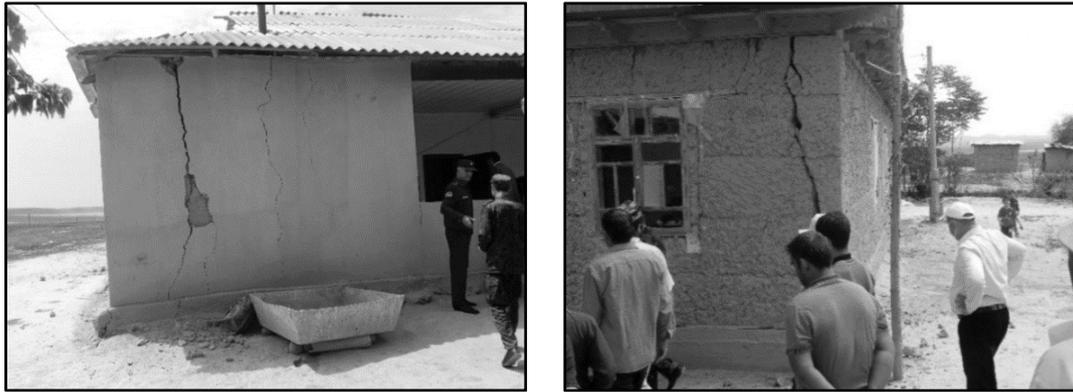


Рис. 7. Сквозные вертикальные трещины на стенах относительно новых жилых домов

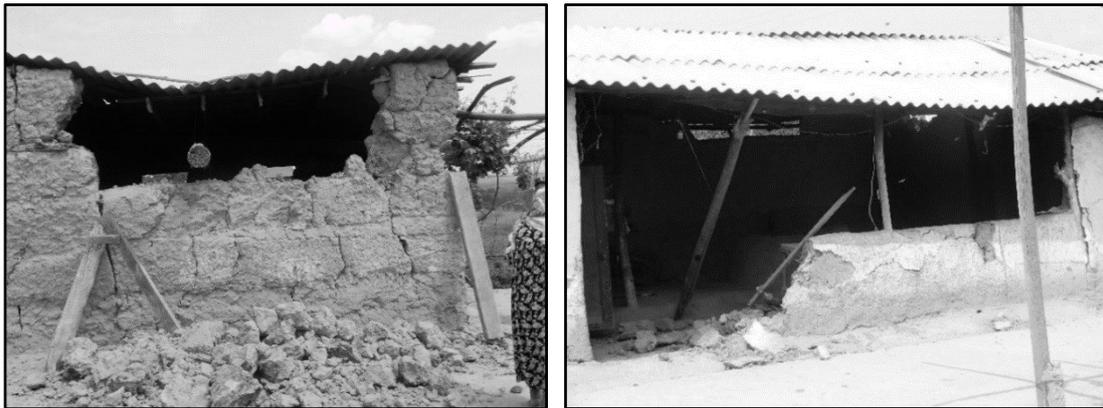


Рис. 8. Обрушение частей стен хозяйственных построек

Сотрясения с интенсивностью  $I_i=5-6$  и  $I_i=5$  баллов ощущались в восьми населенных пунктах, расположенных на расстояниях 6–21 км от эпицентра, включая районные центры Дусти и Джамолидин Балхи (бывший Колхозабад) (рис. 4). В отдельных старых глинобитных домах этой зоны в результате подземных толчков в стенах образовались тонкие трещины, а также незначительно увеличились старые трещины.

Колебания с  $I_i=4$  балла ощущались на расстояниях до 42 км от эпицентра, а 3-балльные – до 64 км (табл. 3).

Колхозабадское землетрясение 24 апреля 2020 г. имело относительно небольшие площади распространения разной балльности: 6-балльная –  $S_6=83 \text{ км}^2$ , 5-балльная –  $S_5=1551 \text{ км}^2$ , 4-балльная –  $S_4=5650 \text{ км}^2$ . Относительно небольшая площадь первой изосейсты свидетельствует о небольших размерах очаговой области. По формуле из [8] горизонтальная протяженность очага  $L_x$  равна:

$$L_x = d_{i \max} - d_{i \min} = 18.2 \text{ км} - 12.8 \text{ км} = 5.4 \text{ км}, \quad (2)$$

где  $d_{i \max}$  и  $d_{i \min}$  – наибольший и наименьший диаметры первой изосейсты.

Расчетная глубина очага по макросейсмической формуле Н.В. Шебалина из [6]:

$$I_0 - I_i = v \lg(1 + \Delta^2/h^2)^{1/2} \quad (3)$$

равна 10–11 км – по средним радиусам изосейст.

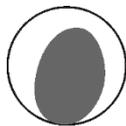
**В тектоническом плане** район расположен в юго-западной части Таджикской депрессии (рис. 1) в пределах Вахшского антиклинория (его южной зоне). В южной зоне антиклинория складки заметно упрощены по сравнению с таковыми в северной. Здесь присуще складчато-чешуйчатое строение с сильно сжатыми, коробчатыми, веерообразными, изоклинальными и остроугольными складками, нарушенными крупными взбросами и надвигами. Синклинали чередуются с коробчатого облика антиклиналями. Складки южные отличаются от северных определенной целостностью и простотой своего строения, хотя они также сильно сжаты и нарушены разрывами значительно меньших амплитуд, чем на севере.

В пределах Вахшского антиклинория выделяется ряд выраженных в рельефе хребтов-поднятий, простирающихся, в основном, в субмеридиональном направлении. Очаг Колхозабадского землетрясения 24 апреля 2020 г. расположен западнее хр. Териклитау, который является одним из них. Зона наибольших повреждений жилых построек расположена на холмистой поверхности восточных отрогов горы Кызылтумшук. Вдоль западного подножия горы, с севера на юг, прослеживается Каратауский разлом [9], который в северной части является крутопадающим ( $60-85^\circ$ ) разрывом, амплитуда которого резко увеличивается в западном направлении и составляет  $\pm 2$  км. Юго-западнее взброс перекрыт чехлом четвертичных отложений. По данным бурения здесь четко фиксируется надвиг с пологой ( $20-30^\circ$ ) плоскостью падения на восток с амплитудой смещения более 4 км. Отложения юры и мела надвинуты к западу на осадки кулябского комплекса и неогена [9].

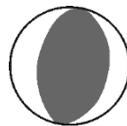
Изосейсты Колхозабадского землетрясения на рис. 4 имеют форму эллипса, вытянутого в меридиональном направлении вдоль Каратауского разлома (рис. 3). Затухание интенсивности в широтном направлении происходило почти в 2 раза быстрее, чем в меридиональном. Характер распространения сейсмических колебаний, форма изосейст, а также расположение эпицентров ощутимых толчков роя свидетельствуют о его связи с подвижками, произошедшими по данному разрывному нарушению в его южной части. По всей видимости, подвижки имели взбросо-надвиговый характер в направлении с востока на запад. Эти предположения можно проверить, взяв из [5] параметры и диаграммы механизмов очагов главного толчка в  $22^{\text{h}}32^{\text{m}}$  с  $K_p=11.4$  по решениям NEIC и GCMT, а также почти равносильного с ним ( $K_p=11.2$ ) афтершока в  $22^{\text{h}}43^{\text{m}}$  по решению NEIC (табл. 4, рис. 9).

Таблица 4. Параметры механизма очагов 24 апреля 2020 г. в  $22^{\text{h}}32^{\text{m}}$  с  $K_p=11.4$  и в  $22^{\text{h}}43^{\text{m}}$  с  $K_p=11.2$

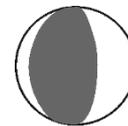
Агентство	$t_0$ , ч мин с	$h$ , км	Магнитуды		$K_p$	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
			$M_w$	$m_b$		T		N		P		NP1			NP2		
						PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP
NEIC	22 32 50.4	10 f	4.8	4.6	11.4	71	163	16	14	9	282	206	56	110	353	39	63
GCMT	22 32 51.4	12 f	4.6	—	11.4	82	105	1	8	8	279	6	37	88	188	53	91
NEIC	22 43 21.0	10.f	4.4	4.3	11.2	74	261	3	360	16	90	184	29	95	358	61	87



NEIC, в  $22^{\text{h}}32^{\text{m}}$  с  $K_p=11.4$



GCMT, в  $22^{\text{h}}32^{\text{m}}$  с  $K_p=11.4$



NEIC, в  $22^{\text{h}}43^{\text{m}}$  с  $K_p=11.2$

Рис. 9. Механизмы очагов землетрясений 24 апреля 2020 г. в  $22^{\text{h}}32^{\text{m}}$  по данным NEIC, GCMT и в  $22^{\text{h}}43^{\text{m}}$  по данным NEIC в проекции нижней полусферы, зачернены области сжатия

Решения механизма очага, представленные в табл. 4 и на рис. 9, свидетельствуют о значительном преобладании напряжений сжатия ( $PL_P=8-16^\circ < PL_T=71-82^\circ$ ) в очаге главного толчка в  $22^{\text{h}}32^{\text{m}}$  и последовавшего за ним через 10 минут афтершока, которые при близзвертикальном растяжении приводят к взбросовым подвижкам при наклонах  $DP$  плоскостей  $>45^\circ$  и к надвигам при  $DP < 45^\circ$ . В частности, решение механизма очага главного толчка в NEIC указывает на то, что взбросовый разрыв произошел либо по более крутой ( $DP_{NP1}=56^\circ$ ) плоскости  $NP1$ , простирающейся на юг-юго-запад ( $STK_{NP1}=206^\circ$ ), либо по близнадвиговой ( $DP_{NP2}=39^\circ$ ) плоскости  $NP2$ , простирающейся близмеридионально ( $STK_{NP2}=353^\circ$ ). Учитывая заключение USGS, основанное на результатах моделирования двух плоскостей тензора входного момента (решение GCMT), а также упомянутый выше надвиг с пологой ( $20-30^\circ$ ) плоскостью падения на восток, выявленный в результате бурения в зоне Каратауского разлома, можно заключить, что более пологая нодальная плоскость  $NP1$  с  $STK_{NP1}=6^\circ$  в решении GCMT, падающая на восток, лучше соответствует простираению и падению Каратауского разлома, а также направлению вытянутости изосейст на рис. 4. Следовательно, эта плоскость является действующей в очаге главного толчка в рое Колхозабадских землетрясений. В очаге последовавшего в  $22^{\text{h}}43^{\text{m}}$  толчка обе нодальные плоскости близмеридиональны ( $STK_{NP1}=184^\circ$  и  $STK_{NP2}=358^\circ$ ), подтверждая приуроченность движений к указанному разлому, но предпочтительной в нем следует признать взбросовую подвижку по более крутой ( $DP_{NP2}=61^\circ$ ) плоскости  $NP2$ .

**Глубинное строение района возникновения Колхозабадского землетрясения 24 апреля 2020 г. и глубины очагов роя.** Общий анализ имеющихся геофизических данных и материалов глубокого бурения о строении земной коры Юго-Западного Таджикистана с их геологической интерпретацией дан в работе Я.А. Беккера и др. [10], где отмечается, что в пределах указанной территории выявляется сложная картина расслоения земной коры и верхней мантии. В разрезе коры устанавливается ряд поверхностей раздела, в том числе приуроченных к верхней части консолидированной коры и осадочной оболочки. При этом подчеркивается, что границы раздела, выявленные выше консолидированной коры и сопоставляемые с определенными стратифицированными отложениями (поверхность палеозойского фундамента, кровля верхнеюрской карбонатной толщи и другие отложения надсолевого комплекса), пока еще недостаточно надежны в отношении их привязки (отождествляемости с физическими границами) и пространственной корреляции в региональном плане [10].

Авторы [10] пришли к заключению об отсутствии в консолидированном фундаменте южной части депрессии крупных разрывов, подобных тем, что четко проявляются в поведении физических полей на границе этой области с горным обрамлением. Складчатые формы в «надсолевой» части покрова являются автономными, бескорневыми. Считается установленным факт существования в структуре «надсолевого» комплекса значительных по амплитуде (до полутора десятков км) надвиговых перемещений с образованием крупных по размерам аллохтонных пластин. Из этого выходит, что почти все разломы Юго-Западной части Таджикской депрессии находятся в осадочном чехле и не имеют продолжения в фундаменте. Если так, то эти тектонические нарушения не могут накопить достаточно большую энергию для генерации сильных землетрясений с  $M>6.0$ .

В районе очага Колхозабадского землетрясения 24 апреля 2020 г. поверхность консолидированного фундамента расположена на глубине 10–11 км (рис. 10). Сам очаг расположен на границе осадочного чехла и фундамента. Как видно по данным ГС НАНТ [3] из табл. 2, большинство очагов исследуемого роя (17 из 25) лоцированы на глубине  $h=11–19$  км, т.е. они расположены в консолидированном фундаменте. Если их глубины определены достоверно, то возникает вопрос о возможном продолжении Каратауского разлома (возможно и других тектонических нарушений юго-западной части Таджикской депрессии) в консолидированный фундамент. Вероятнее всего, на поверхности фундамента существуют свои тектонические нарушения, не связанные с осадочным чехлом, по которым проходила разрядка напряжений при этих сейсмических толчках. Этот вопрос нуждается в детальном изучении. Интересен тот факт, что роевая область Колхозабадского землетрясения 24 апреля 2020 г. вытянута вдоль Каратауского разлома, как и изосейсты балльности данного сейсмического события.

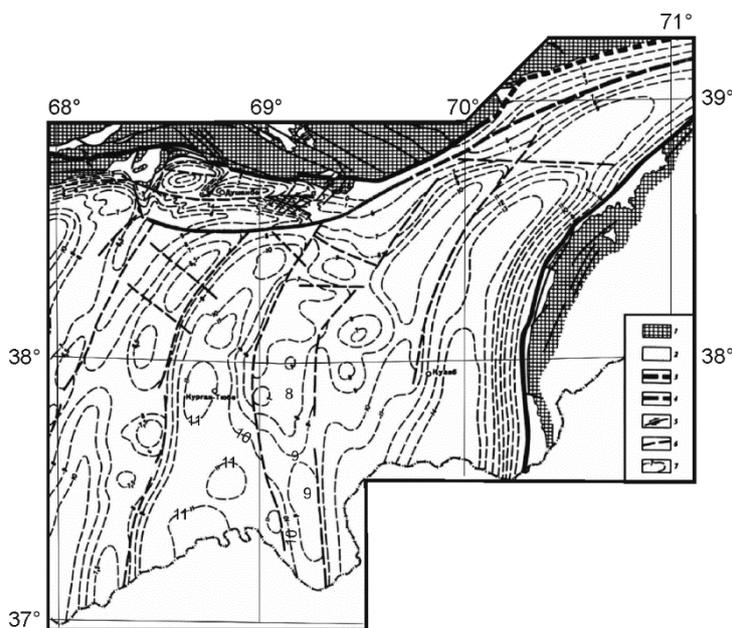
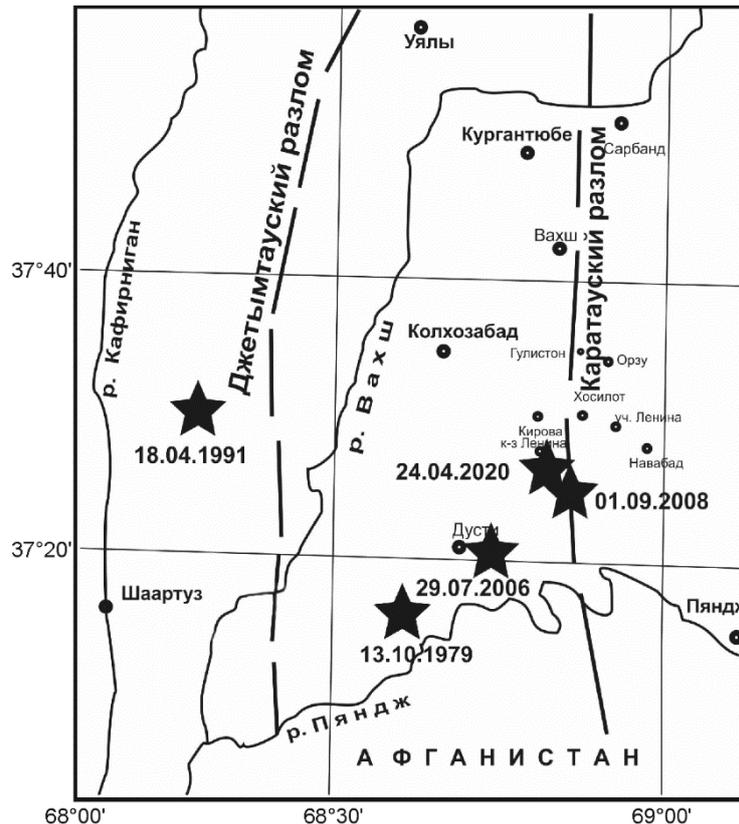


Рис. 10. Структурная схема поверхности консолидированного фундамента [10]

1 – выходы доюрских образований на поверхность; 2 – выходы мезозойских и кайнозойских отложений на поверхность; 3 – важнейшие глубинные разломы, прослеживаемые на поверхности и предполагаемые, 4 – погребенные разломы, трассируемые по геолого-геофизическим данным; 5 – прочие установленные разломы; 6 – предполагаемые погребенные разломы; 7 – изогипсы поверхности, располагающейся вблизи кровли консолидированного фундамента.

**Об истории сейсмичности района.** Сейсмичность Юго-Западного Таджикистана, за исключением его северной части, в целом невысокая. За историческое время в юго-западной части Таджикской депрессии зарегистрировано всего пять землетрясений с интенсивностью в эпицентре от 6 до 7–8 баллов (рис. 11): 6-балльное Нижне-Пянджское 13.10.1979 г. в  $08^{\text{h}}43^{\text{m}}$  с  $\varphi=37.29^{\circ}\text{N}$ ,  $\lambda=68.50^{\circ}\text{E}$ ,  $K_{\text{P}}=11$  [11],  $m_{\text{bISC}}=4.0$  [5]; 7–8-балльное Кабодиёнское 18.04.1991 г. в  $09^{\text{h}}18^{\text{m}}$  с  $\varphi=37.61^{\circ}\text{N}$ ,  $\lambda=68.25^{\circ}\text{E}$ ,  $K_{\text{P}}=13.9$  [12], с  $M_{\text{SISC}}=5.3$  [5]; 6–7-балльное Кумсангирское 29.07.2006 г. в  $10^{\text{h}}52^{\text{m}}$  с  $\varphi=37.35^{\circ}\text{N}$ ,  $\lambda=68.70^{\circ}\text{E}$ ,  $K_{\text{P}}=13.4$  [13],  $M_{\text{SISC}}=5.2$  [5]; 6-балльное Кумсангирское 01.09.2008 г. в  $04^{\text{h}}24^{\text{m}}$  с  $\varphi=37.40^{\circ}\text{N}$ ,  $\lambda=68.85^{\circ}\text{E}$ ,  $K_{\text{P}}=13.1$  [14],  $M_{\text{SISC}}=5.0$  [5], а также описанный выше Колхозабадский рой землетрясений 24 апреля 2020 г. с главным толчком роя в  $22^{\text{h}}32^{\text{m}}$  с  $K_{\text{P}}=11.4$ ,  $M_{\text{WGCMT}}=4.6$  [5] и макросейсмическим эпицентром с координатами:  $\varphi_{\text{M}}=37.50^{\circ}\text{N}$ ,  $\lambda_{\text{M}}=68.80^{\circ}\text{E}$ .



**Рис. 11.** Схема расположения эпицентров сильных исторических землетрясений с интенсивностью в эпицентре от 6 до 7–8 баллов в юго-западной части Таджикской депрессии

Следует отметить, что Кумсангирские землетрясения 2006 г. [13] и 2008 г. [14] проявились на поверхности аналогично Колхозабадскому 2020 г., но лишь в 2006 г. за 10 часов до главного отмечен предваряющий ощутимый толчок с  $K_{\text{P}}=12.1$  [15]. Они также имели небольшие площади распространения, их изосейсты были вытянуты в субмеридиональном направлении вдоль Каратауского разлома.

Расположение эпицентров последних сейсмических событий (Кумсангирских и Колхозабадского) в зоне Каратауского разлома может свидетельствовать о его тектонической активизации за последние 14 лет.

**Закключение.** Колхозабадское землетрясение 24 апреля 2020 г. с интенсивностью в эпицентре 6 баллов, выявленной по результатам полевого обследования его последствий, произошло в южной части Юго-Западного Таджикистана, сейсмичность которой в целом относительно невысока. Землетрясение является максимальным событием роя из 25 землетрясений, реализовавшихся в течение суток 24 апреля, большая часть из которых предшествовали основному толчку.

Анализ инструментальных, макросейсмических данных, механизмов очагов событий роя с учетом геологических условий показал, что данные землетрясения связаны с тектоническими подвижками по Каратаускому разлому. Установлена действующая в очаге максимального толчка плоскость разрыва, совпадающая с простираением и падением этого разлома. Показано, что

6-балльный макросейсмический эффект мог быть вызван суммарным воздействием событий роя 24 апреля, несколько из которых по энергии близки к максимальному толчку.

За 14 последних лет (2006–2020 гг.) Колхозабадское землетрясение 24 апреля 2020 г. с  $M_{WGCMT}=4.6$  – третье по счету заметное землетрясение, произошедшее в зоне Каратауского разлома. Глубина его очага, как и большинства сопровождавших его событий роя, находится в диапазоне  $h=10–19$  км, что наводит на мысль о возможном продолжении Каратауского разлома в консолидированный фундамент, вопреки существующим представлениям об его обрыве на границе осадочного чехла. Данный вопрос требует дальнейшего изучения.

### Л и т е р а т у р а

1. Бабаев А.М., Кошлаков Г.В., Мирзоев К.М. Сейсмическое районирование Таджикистана (объяснительная записка). – Душанбе: Дониш, 1978. – 68 с.
2. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Международная шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
3. Улубиева Т.Р., Рислинг Л.И., Михайлова Р.С., Нилобекова З.М., Маматкулова З.С., Холова Г.Н., Хакимова С.Ш. Каталог землетрясений Таджикистана за 2020 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2024. – Вып. 27 (2020). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-27.html>
4. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности. (Труды ИФЗ АН СССР; № 9 (176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
5. International Seismological Centre. (2024). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
6. Шебалин Н.В. Методы использования инженерно-сейсмических данных при сейсмическом районировании // Сейсмическое районирование СССР. – М.: Наука, 1968. – С. 95–111.
7. Коньков А.А. Определение коэффициентов макросейсмического поля Таджикской депрессии // Сильные землетрясения Средней Азии и Казахстана, Т. 2–4. – Душанбе: Дониш, 1975. – С. 70–72.
8. Шебалин Н.В. Очаги сильных землетрясений на территории СССР. – М.: Наука, 1974. – 54 с.
9. Чернер Э.С., Соколов В.А. и др. Объяснительная записка к карте тектонических форм Таджикской ССР. Масштаб 1:500 000. Отчет картосоставительского отряда за 1976–1978 гг. – Фонды ГУГ при ПРТ, 1978. – 57 с.
10. Беккер Я.А., Кошлаков Г.В., Кузнецов Е.С. Глубинное строение Юго-Западного Таджикистана по геолого-геофизическим данным // Поиски предвестников землетрясений на прогностических полигонах. – М.: Наука, 1974. – С. 16–24.
11. Джураев Р.У. Схема изосейст Нижне-Пянджского землетрясения 13 октября 1979 г. // Землетрясения в СССР в 1979 году. – М.: Наука, 1982. – С. 43–44.
12. Джураев Р.У. Сильные землетрясения в сейсмически малоактивных зонах (Кабодиёнское землетрясение 18 апреля 1991 г.) // Труды Международной научной конференции «Современные аспекты развития сейсмостойкого строительства и сейсмологии». – Душанбе: Дониш, 2005. – С. 210–212.
13. Джураев Р.У. Кумсангирское землетрясение 29 июля 2006 г. с  $K_R=13.4$ ,  $M_w=5.4$ ,  $I_0=6–7$  (Таджикистан) // Землетрясения Северной Евразии, 2006 год. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 351–358.
14. Джураев Р.У. Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Таджикистана за период с 2006 по 2010 г. – Отчет ТИССС АН РТ, 2010. – 57 с.
15. Улубиева Т.Р., Рислинг Л.И., Шараускас Л.М., Малюта Н.Б., Давлятова Р., Михайлова Р.С., Улубиев А.Н., Шараускас Н.В. Каталог землетрясений Таджикистана за 2006 год // Землетрясения Северной Евразии, 2006 год. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – Приложение на CD-ROM.

### **KOLKHOZABAD EARTHQUAKE of APRIL 24, 2020**

**with  $K_R=11.4$ ,  $M_{WGCMT}=4.6$ ,  $I_0=6$  (TAJIKISTAN)**

**R.U. Juraev**

*Institute of Geology, Seismic Construction and Seismology of the National Academy of Sciences of Tajikistan,  
Dushanbe, dhuraev52@mail.ru*

Abstract. The results of a field survey of the effects and consequences of Kolkhozabad earthquake with  $K_R=11.4$ ,  $M_{WGCMT}=4.6$ ,  $I_0=6$ , which occurred in the southwestern part of Tajikistan on April 24, 2020, are presented. The earthquake is a part of a swarm of 25 earthquakes and is the maximum event of the swarm. An iso-seismal map was compiled, macroseismic parameters and the association of the earthquake with the geological

structures of the region were determined. A rupture plane operating in the source coinciding with the strike and dip of the Karatau fault has been established. It is shown that the 6-point macroseismic effect could be the result of the total impact of the swarm events of April 24, several of which are close in energy to the maximum shock. The depth values of the maximum shock on April 24 and the accompanying swarm of earthquakes during the day are considered, their connection with the deep structure of the region is established.

**Key words:** earthquake, swarm of earthquakes, epicenter, macroseismic parameters, earthquake consequences, isoseismal map, deep structure.

**For citation:** Juraev, R.U. (2024). [Kolkhozabad earthquake of April 24, 2020 with  $K_R=11.4$ ,  $M_{WGCM}=4.6$ ,  $I_0=6$  (Tajikistan)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 27(2020), 301–312. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.27> EDN: TMGSHG

## References

1. Babaev, A.M., Koshlakov, G.V., & Mirzoev, K.M. (1978). *Seismicheskoe rajonirovanie Tadzhikistana (ob'yasnitel'naya zapiska)* [Seismic zoning of Tajikistan (explanatory note)]. Dushanbe, Tajikistan: Donish Publ., 68 p. (In Russ.).
2. Medvedev, S.V., Shponhoyer, V., & Karnik, V. (1965). *Mezhdunarodnaya shkala seysmicheskoy intensivnosti MSK-64* [MSK-64 International seismic intensity scale]. Moscow, Russia: MGK Academy of Sciences USSR Publ., 11 p. (In Russ.).
3. Ulubieva, T.R., Risling, L.I., Mikhailova, R.S., Nilobekova, Z.M., Mamatkulova, Z.S., Kholova, G.N., & Khakimova, S.Sh. (2024). [Catalog of Tajikistan earthquakes for 2020]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 27(2020). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-27.html> (In Russ.).
4. Rautian, T.G. (1960). [Energy of earthquakes]. In *Metody detal'nogo izucheniya seismichnosti (Trudy IFZ AN SSSR, № 9(176))* [Methods of Detail Study of Seismicity] (pp. 75–114). Moscow, Russia: Inst. Fiz. Zemli Akad. Nauk SSSR Publ. (In Russ.).
5. International Seismological Centre. (2024). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
6. Shebalin, N.V. (1968). [Methods of using engineering seismic data in seismic zoning]. In *Seismicheskoe raionirovanie SSSR* [Seismic zoning of the USSR] (pp. 95–111). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
7. Kon'kov, A.A. (1975). [Determination of the Tajik depression macroseismic field coefficients]. In *Sil'nye zemletryaseniya Srednej Azii i Kazahstana, T. 2–4* [Strong earthquakes of Central Asia and Kazakhstan, V. 2–4] (pp. 70–72). Dushanbe, Tajikistan: Donish Publ. (In Russ.).
8. Shebalin, N.V. (1974). *Ochagi sil'nyh zemletryasenij na territorii SSSR* [Foci of strong earthquakes on the territory of the USSR]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 54 p. (In Russ.).
9. Cherner, E.S., Sokolov, V.A. et al. (1978). *Ob'yasnitel'naya zapiska k karte tektonicheskikh form Tadzhikskoj SSR. Masshtab 1:500 000. Otchet kartosostavitel'skogo otryada za 1976–1978 gg.* [Explanatory note to the map of tectonic forms of the Tajik SSR. Scale 1:500 000. Report of the mapping team for 1976–1978]. Funds of the Main State University under the Government of Tatarstan Publ., 57 p. (In Russ.).
10. Becker, Ya.A., Koshlakov, G.V., & Kuznetsov, E.S. (1974). [Deep structure of Southwestern Tajikistan according to geological and geophysical data]. In *Poiski predvestnikov zemletryasenij na prognosticheskikh poligonah* [The search for earthquake precursors at prognostic polygons] (pp. 16–24). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
11. Juraev, R.U. (1979). [Scheme of isoseisms of the Nizhne-Pyanj earthquake of October 13, 1979]. *Zemletriaseniia v SSSR v 1979 godu* [Earthquakes in the USSR in 1979] (pp. 43–44). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
12. Juraev, R.U. (2005). [Strong earthquakes in seismically inactive zones (Kabodi earthquake on April 18, 1991)]. In *Trudy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii "Sovremennye aspekty razvitiya sejsmostojkogo stroitel'stva i sejsmologii"* [Proceedings of the International Scientific Conference "Modern aspects of the development of earthquake-resistant construction and seismology"] (pp. 210–212). Dushanbe, Tajikistan: Donish Publ. (In Russ.).
13. Juraev, R.U. (2012). [Kumsangir earthquake on July 29, 2006 with  $K_R=13.4$ ,  $M_W=5.4$ ,  $I_0=6-7$  (Tajikistan)]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2006 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2006] (pp. 351–358). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
14. Juraev, R.U. (2010). [Macroseismic effect of significant earthquakes in Tajikistan for the period from 2006 to 2010]. In *Otchet TISSS AN RT* [Report of the TISSS AS RT], 57 p. (In Russ.).
15. Ulubieva, T.R., Risling, L.I., Sharauskas, L.M., Malyuta, N.B., Davlyatova, R., Mikhailova, R.S., Ulubiev, A.N., & Sharauskas, N.V. (2012). [Catalog of Tajikistan earthquakes for 2006]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2006 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2006]. Obninsk, Russia: GS RAS Publ. Appendix on CD. (In Russ.).