

СЕЙСМИЧНОСТЬ ТАДЖИКИСТАНА и ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ в 2015 г.

Т.Р. Улубиева¹, Р.С. Михайлова², Л.И. Рислинг¹, Р.У. Джурраев³

¹Геофизическая служба АН Республики Таджикистан, г. Душанбе, *tanya_55_08@mail.ru*

²Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, *raisa@gsgas.ru*

³Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Академии наук Республики Таджикистан, Душанбе, *dzhurraev52@mail.ru*

Аннотация. В 2015 г. в Таджикистане продолжала работать система сейсмического мониторинга из семи цифровых станций Trident+Trillium40. Этой сетью зарегистрировано 9071 землетрясение с $K_p=8.6-17.0$, из них 6427 Памиро-Гиндукушских землетрясений с промежуточными глубинами $h=70-300$ км и 2644 мелкофокусных события, очаги которых рассредоточены по всей территории. Суммарная сейсмическая энергия, выделившаяся в очагах землетрясений, составила $\Sigma E=1.815 \cdot 10^{17}$ Дж. Сильнейшим в 2015 г. в регионе было Гиндукушское землетрясение 26 октября с $M_w=7.5$, $h=230$ км ($h_{rp}=217$ км), произошедшее у южных границ Республики на территории Афганистана и причинившее значительный материальный ущерб и гибель, по меньшей мере, 115 человек. Оно ощущалось на территории 14 государств с суммарной площадью осязаемости до $I_i=2$ балла более $14 \cdot 10^6$ км². Приведена детальная карта изосейст, суммирующая макросейсмический эффект на территории Таджикистана. Землетрясение сопровождалось неожиданно большой для глубокого землетрясения афтершоковой серией, содержащей свыше 1400 афтершоков с $K_p=8.6-12.8$. Непосредственно в границах Республики наиболее сильным было 8-балльное Сарезское-II землетрясение 7 декабря с $M_w=7.2$, $h=20$ км, спровоцированное, безусловно, глубоким землетрясением 26 октября и локализованное в зоне пересечения Бартанг-Пшартского и южной оконечности двоянных Каракульско-Сарезских глубинных разломов I-го порядка, в 22 км от Сарезского озера. В общей сложности были повреждены более 500 домов, десятки людей получили травмы, были человеческие жертвы. Удалось построить детальную карту изосейст для четырех уровней интенсивности сотрясений – $I=7, 6, 5$ и 4 балла. Число афтершоков с $K_p=8.6-13.9$ только за 24 дня до конца года превысило 1300. В результате уровень сейсмичности в Таджикистане в 2015 г., как по числу землетрясений, так и по уровню высвобожденной сейсмической энергии, стал самым высоким за период инструментальных наблюдений.

Ключевые слова: цифровые станции, сейсмичность, механизм очага, карта изосейст, Памиро-Гиндукуш, Усойский завал, Сарезские землетрясения 1911 и 2015 года.

DOI: 10.35540/1818-6254.2021.24.09

Для цитирования: Улубиева Т.Р., Михайлова Р.С., Рислинг Л.И., Джурраев Р.У. Сейсмичность Таджикистана и прилегающих территорий в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – С. 103–112. doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.09

Введение. В настоящем обзоре приведены результаты анализа сейсмичности Таджикистана и прилегающих территорий в 2015 году. Источниками информации явились годовые каталоги землетрясений, механизмов очагов и макросейсмических данных об осязаемых толчках, составленные сотрудниками двух учреждений Академии наук Республики – Геофизической службы и Института геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии.

Система наблюдений. В 2015 г. непрерывные сейсмологические наблюдения, как и в 2014 г. [1], проводились Геофизической службой АН Республики Таджикистан. Регистрация землетрясений Таджикистана и сопредельных государств осуществлялась семью цифровыми широкополосными сейсмическими станциями Trident+Trillium40: «Чуянгарон», «Гарм», «Гезан», «Игрон», «Шаартуз», «Манем» и «Чорух-Дайрон». Координаты и параметры станций даны в [2]. В целом границы исследуемой территории (в пределах координат $36-40^\circ\text{N}$, $67-75^\circ\text{E}$ и $40-41^\circ\text{N}$, $69-71^\circ\text{E}$) и схема четырех сейсмоактивных зон Таджикистана (рис. 1) не изменились, хотя обработка землетрясений частично проводилась вне указанных границ.

Методика обработки цифровых записей землетрясений осталась прежней [1]. Вся цифровая сейсмическая система работает в режиме TDMA – множественный доступ с временным разделением, т.е. каждая станция вещает в строго определенный промежуток времени. Связь удаленных станций с центральной станцией в г. Душанбе происходит с помощью спутника «Intelsat». Передача информации проводится непрерывно в режиме реального времени. Для обработки и анализа сейсмических данных используется следующее программное обеспечение:

CoreEarthworm – программа для автоматической обработки землетрясений, включающая в себя программу Nupoinverse, где собраны годографы и геологические характеристики региона; Ocasle – база данных для хранения сейсмической информации и программа для обработки сейсмической информации вручную.

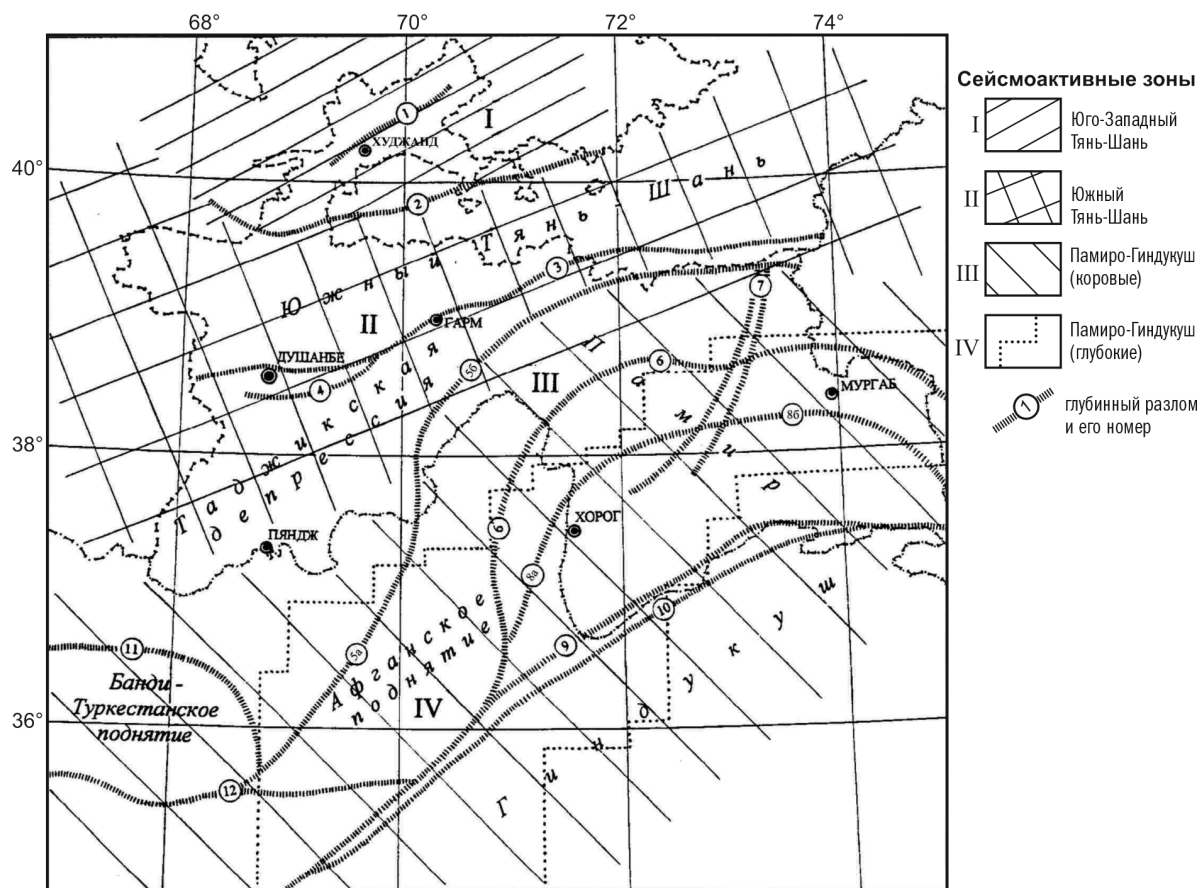


Рис. 1. Сейсмоактивные зоны Таджикистана и глубинные разломы

I–IV – сейсмоактивные зоны: Юго-Западный Тянь-Шань, Южный Тянь-Шань, Памиро-Гиндукуш (коровые), Памиро-Гиндукуш (глубокие) соответственно; 5 – глубинный разлом и его номер.

Главнейшие глубинные разломы территории Таджикистана и Северного Афганистана по [3]: 1 – Северо-Ферганский; 2 – Заамин-Хайдараканский; 3 – Южно-Гиссарский; 4 – Илякско-Вахшский; 5 – Дарваз-Заалайский; 5 – Афгано-Северо-Памирский; 6 – Ванч-Акбайтальский; 7 – Каракульско-Сарезский; 8 а – Бартанг-Пшартский; 8 б – Рушано-Северо-Пшартский; 9, 10 – Афгано-Южно-Памирские; 11 – Альбурз-Мормульский; 12 – Андараб-Мирзавалангский.

Классификация землетрясений в земной коре с $h \leq 69$ км проводится традиционно по энергетическим классам K_p по номограмме Т.Г. Раутиан [4] с использованием эпицентральных расстояний Δ , а на глубинах $h \geq 70$ км – гипоцентральных расстояний r [5].

Каталог землетрясений составлен в результате сводной обработки землетрясений Таджикистана и прилегающих к нему районов Узбекистана, Кыргызстана, Афганистана, Пакистана, Индии и Китая за 2015 г. [6]. Как и ранее, *ред.* добавлены значения разных магнитуд по поверхностным (M_S , M_s), объемным (M_{PSP} , m_b) волнам из бюллетеней ISC [7], MOS [8], моментная магнитуда (M_w) и сейсмический момент M_0 из [7]. Кроме того, добавлено значительное число макросейсмических данных: для 59 событий из [9], 458 – из USGS [10], 38 – из [11], 55 – из MOS [8] и для пяти из ИС АНТ [12]. В итоге сведения об ощутимости были собраны *ред.* для 57 землетрясений Таджикистана [13]. Все макросейсмические данные расписаны по конкретным населенным пунктам [14]. В каталоге механизмов очагов 58 землетрясений Таджикистана [15] региональных решений нет. Итоговый каталог [6] Таджикистана содержит 9071 землетрясение с $K_p=8.6-17.0$, из них 6427 – Памиро-Гиндукушские землетрясения с промежуточными глубинами $h=70-300$ км и 2644 – разбросанные на всей территории мелкофокусные толчки с $h < 70$ км. Суммарная энергия всех землетрясений, выделившаяся в их очагах, равна $\Sigma E=1.815 \cdot 10^{17}$ Дж.

Сильнейшим в 2015 г. явилось Гиндукушское землетрясение 26 октября в 09^h09^m с $K_p=17.0$, $M_{w_{\text{сст}}}=7.5$ (№ 15 на рис. 2), описанное в отдельной статье [16] настоящего выпуска журнала. Оно произошло на глубине $h_n=230$ км по региональному определению [6], или $h_{\text{pp}}=217$ км по данным ISC [7], в Памиро-Гиндукушской зоне на территории северного Афганистана, в районе хребта Гиндукуш, и вызвало сотрясения разной интенсивности на территории Афганистана ($\Delta_{\text{min}}=130$ км), Таджикистана (157 км), Пакистана (267 км), Туркменистана (403 км), Индии (429 км), Кыргызстана (497 км), Узбекистана (533 км), Китая (598 км), Казахстана (650 км), Ирана (960 км), Непала (1727 км), ОАЭ (2017 км), Российской Федерации (2145 км), Катара (2148 км) и Бангладеша (2379 км) [13]. Расстояние между крайними пунктами по долготе (Доха в Катаре и Танги в Бангладеше) равно ~ 3900 км, по широте – (Калькутта в Индии и Новосибирск в России) ~ 3600 км. Суммарная площадь сотрясений интенсивностью выше 2 баллов составляет свыше $14 \cdot 10^6$ км². На территории Таджикистана интенсивность сотрясений составила от 5 до 6–7 баллов [11, 13].

Анализ сейсмичности в сейсмоактивных зонах. Распределение зарегистрированных в 2015 г. землетрясений по крупным сейсмоактивным зонам I–IV (рис. 1) представлено в табл. 1 в сравнении с показателями за 2014 год.

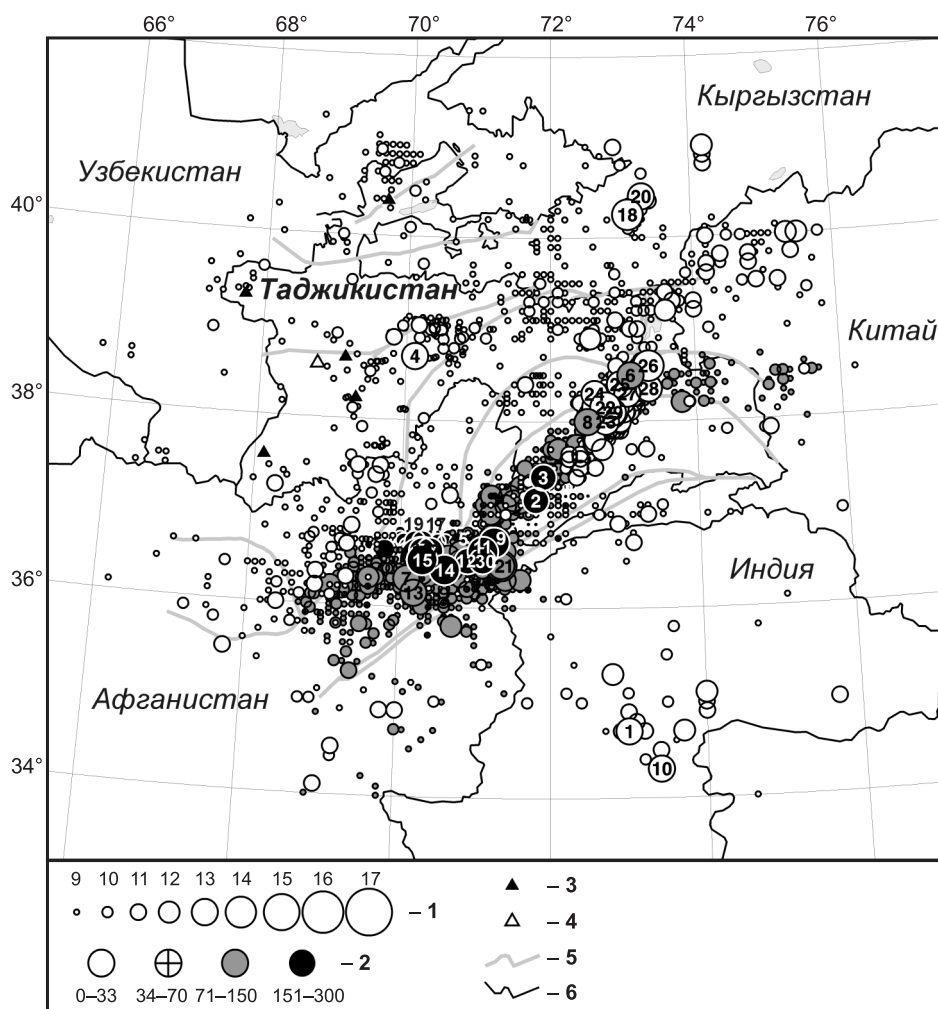


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений Таджикистана и прилегающих территорий с $K_p \geq 8.6$ за 2015 г.

1 – энергетический класс K_p ; 2 – глубина гипоцентра h , км; 3 – цифровая сейсмическая станция; 4 – центр сбора и обработки данных цифровых станций; 5 – глубинный разлом I-го порядка по [3]; 6 – государственная граница.

Как видим, произошло некоторое уменьшение числа землетрясений в зоне I (85 вместо 101) и существенное увеличение землетрясений в зонах III и IV Памиро-Гиндукуша: коровых в 3.8 раза (2242 вместо 582), глубоких – в 1.5 раза (6427 вместо 4308). Почти не изменилось количество толчков в зоне II (317 вместо 315).

Таблица 1. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам K_p и суммарной сейсмической энергии ΣE по зонам I–IV за 2015 г.

№	Зона	K_p									N_Σ	ΣE , Дж	
		9	10	11	12	13	14	15	16	17			
I	Юго-Западный Тянь-Шань	73 (85)	8 (11)	3 (5)	1 (0)	(0)	(0)	(0)	–	–	–	85 (101)	$9.184 \cdot 10^{11}$ ($1.04 \cdot 10^{14}$)
II	Южный Тянь-Шань	250 (237)	49 (49)	13 (23)	2 (6)	2 (0)	1 (0)	–	–	–	317 (315)	$2.155 \cdot 10^{14}$ ($9.05 \cdot 10^{12}$)	
III	Памиро-Гиндукуш (коровые)	1691 (421)	343 (107)	178 (44)	20 (6)	8 (3)	1 (1)	–	1	–	2242 (582)	$7.971 \cdot 10^{16}$ ($6.15 \cdot 10^{13}$)	
IV	Памиро-Гиндукуш (глубокие)	5377 (3442)	888 (740)	99 (77)	46 (40)	11 (7)	4 (2)	1	–	1	6427 (4308)	$1.016 \cdot 10^{17}$ ($1.17 \cdot 10^{14}$)	
	Всего	7391 (4185)	1288 (907)	442 (149)	121 (52)	21 (10)	6 (3)	1	1	1	9071 (5306)	$1.815 \cdot 10^{17}$ ($6.596 \cdot 10^{14}$)	

Примечание. В скобках приведены данные за 2014 г. [1].

В табл. 2 представлены параметры механизмов очагов значимых землетрясений в каждой из четырех сейсмогенных зон из [15] по данным GCMT.

Таблица 2. Параметры механизмов очагов значимых землетрясений 2015 г. в зонах II–IV

Зона/Дата	t_0 , ч мин с	h , км	M_w	K_p	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
					T		N		P		$NP1$			$NP2$		
					PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP
Зона II																
20.05.2015	03 31 41	10	5.2	12.7	50	74	24	196	30	300	78	26	155	191	79	66
Зона III																
13.07.2015	03 31 41	10	5.2	12.7	4	270	65	171	25	2	45	70	–15	138	76	–159
07.12.2015	07 50 01	20	7.2	16.9	2	78	78	338	12	168	212	80	–7	304	83	–170
Зона IV (Афганская подзона)																
29.06.2015	22 07 48	190	5.5	13.9	80	294	3	43	9	134	41	54	86	228	36	95
10.08.2015	10 05 26	230	5.9	14.3	72	300	12	72	13	164	64	59	76	271	33	112
26.10.2015	09 09 40	230	7.5	17.0	66	18	2	283	24	193	104	69	92	279	21	85
Зона IV (Хорогская подзона)																
03.01.2015	12 46 34	120	4.8	12.5	6	128	8	219	80	4	45	51	–79	209	40	–103
28.04.2015	05 03 26	170	4.8	13.0	77	175	2	274	13	5	97	32	94	273	58	88
Зона IV (Мургабская подзона)																
31.08.2015	16 13 42	140	4.8	12.0	29	201	21	98	52	338	93	78	–112	335	25	–30

Рассмотрим детально сейсмичность в каждой из зон I–IV. На территории зоны **Юго-Западного Тянь-Шаня (I)** зарегистрированы 85 землетрясений с $K_p \geq 8.6$ –11.8, максимальное из них с $K_p=11.8$ [6] произошло 10 июля в 00^h31^m северо-восточнее границ Таджикистана ($\varphi=41.00^\circ N$, $\lambda=74.20^\circ E$). Практически в тех же координатах локализованы два землетрясения 11 класса: 13 января в 22^h54^m с $K_p=10.7$ и 1 октября в 21^h41^m с $K_p=10.6$ [6], а третье, 21 января в 09^h10^m с $K_p=10.7$, – западнее. Остальные события, более слабые, сосредоточены традиционно у северных границ Ходжентской области Таджикистана (рис. 2). Ощутимым в зоне I оказался лишь толчок 1 октября, вызвавший сотрясения с $I_i=3$ балла в селениях Максимал, Кош-Дебе Кыргызстана; 2–3 балла – в Кош-Этер, Ак-Терек, Чет-Булак Кыргызстана и в пгт Джергетал – Таджикистана [13, 14].

В зоне II на территории Южного Тянь-Шаня суммарное число землетрясений, равное $N_\Sigma=317$ (табл. 1), практически совпадает с таковым ($N_\Sigma=315$) в 2014 г., но суммарная энергия повысилась на порядок ($1.15 \cdot 10^{14}$ Дж вместо $9.05 \cdot 10^{12}$ Дж). Максимальным, с $K_p=14.3$, явилось землетрясение 17 ноября в 12^h29^m [6] северо-восточнее границ Таджикистана (рис. 2), с радиусом ошутимости $\Delta_{\max}=459$ км (Алматы) [13].

В пределах Республики максимальный энергетический класс в зоне II, $K_p=12.7$, отмечен в Душанбино-Вахшском районе у землетрясения 20 мая в 03^h31^m с [6], между Южно-Гиссарским (№ 3) и Дарваз-Заалайским (№ 5) разломами. Согласно табл. 2, в его очаге-произошел правый сдвиг с компонентами надвига по пологой плоскости $NP1$, или взброс с компонентами левого сдвига по близвертикальной плоскости $NP2$. Землетрясение 20 мая ощущалось в Таджикистане [13] с интенсивностью $I_i=4-5$ баллов в Рогуне, Гарме, Курган-Тюбе; 2-3 балла – в Душанбе, Сарбанде. Оно сопровождалось значительным числом афтершоков [17]. Всего до конца года здесь зарегистрировано 333 толчка преимущественно 6-7 энергетического класса (табл. 3).

Таблица 3. Распределение по классам афтершоков землетрясения 20 мая в 03^h31^m с $K_p=12.7$

K_p	6	7	8	9	≥ 7	≥ 9	Всего
$N(K_p)$	265	59	7	2	68	2	333

Памиро-Гиндукушская зона (III). Сейсмический потенциал Памира в конце года резко повысился. Здесь 7 декабря в 07^h50^m произошло Сарезское-II землетрясение с $K_p=16.9$, $M_w=7.2$, $\varphi=38.15^\circ N$, $\lambda=72.85^\circ E$, $h=20$ км, $I_0=7-8$ баллов [6], описанное в [18]. Землетрясением был нанесен значительный материальный ущерб населенным пунктам на Памире (Босбай тал – 7-8 баллов, Сарез, Кудара, Бопасор, Ирхт, Пасор – 7 баллов [13]). Его эпицентр (№ 22 на рис. 2) располагался в зоне пересечения центральной части Бартанг-Пшартского и южной оконечности Каракульско-Сарезских разломов, в 14 км от Сарезского озера в устьевой части Ирхтского залива. В общей сложности были повреждены и разрушены более 500 домов, десятки людей получили травмы, были человеческие жертвы. На оз. Сарез его интенсивность составила 7 баллов [13]. За 22 часа до главного толчка здесь отмечен форшок с $K_p=10$ и многочисленные афтершоки (свыше 1300), помеченные в каталоге [6] как «афт-3». Они распространились на большой территории ($37.9-38.65^\circ N$, $72.5-73.4^\circ E$). Следует отметить, что после основного толчка уровень воды в озере поднялся на 20-25 см, но в течение 2-3 суток пришел в первоначальное состояние. Карта изосейст дана на рис. 3 из работы [9].

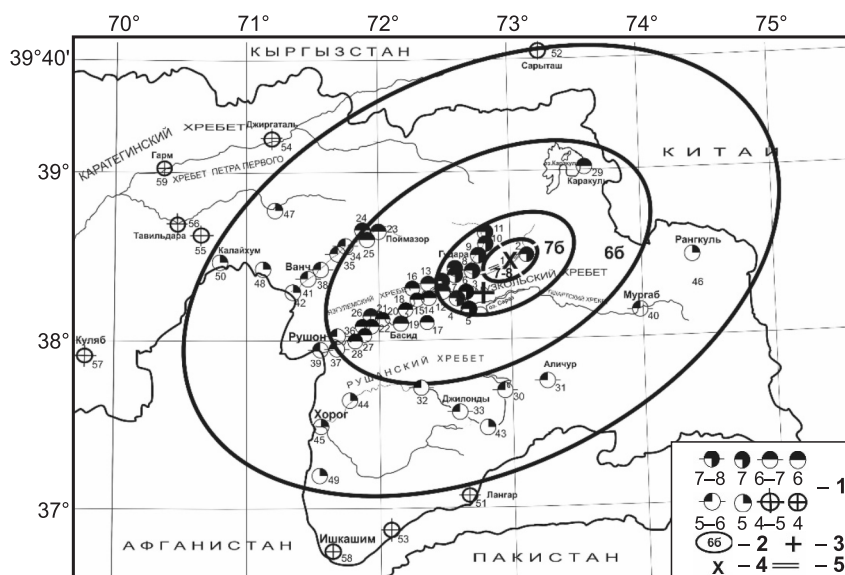


Рис. 3. Карта изосейст Сарезского-II землетрясения 07.12.2015 г. из [9]

1 – балл по шкале MSK-64; 2 – изосейста; 3, 4 – инструментальный и макросейсмический эпицентр соответственно; 5 – трещины в грунтах.

Удивительно совпадение, как в координатах, так и в макросейсмических проявлениях, этого землетрясения с известнейшим в истории отечественной сейсмологии Сарезским-I землетрясением 11 февраля 1911 г. с $M_w=7.4$, $\varphi=38.2^\circ$, $\lambda=72.8^\circ$, $h=26$ км, $I_0=9$ баллов, описанным почти 100 лет назад Б.Б. Голицыным [19]. В 2015 г. были наиболее сильно повреждены и разрушены те же селения в верховьях долины р. Бартанг (Гудара, Пасор, Бопасор, Рухч, Акташ, Ташкол, Курган, Босбай тал), что и при землетрясении 1911 г. [18]. Изосейсты землетрясения 7 декабря 2015 г.

имеют форму эллипса, вытянутого в субширотном направлении, и совпадают с простиранием Бартанг-Пшартского разлома. Площадь 7-балльной изосейсты составляет около $S_7=1\,900\text{ км}^2$, 6 балльной – $S_6=32\,000\text{ км}^2$ и 5 балльной – более $S_5=125\,000\text{ км}^2$. Площадь 6-балльной изосейсты землетрясения 1911 г. составляла $S_6=33\,000\text{ км}^2$, а 5-балльной – $S_5=117\,000\text{ км}^2$, т.е. они близки к таковым в 2015 году. Ориентация главных осей изосейст и площадей 6- и 5-балльных сотрясений этих двух сейсмических событий почти совпадают.

Землетрясение 7 декабря произошло под действием близгоризонтальных ($PL_T=2^\circ$) напряжений растяжения, ориентированных близширотно ($AZM_T=78^\circ$), и близгоризонтальных ($PL_P=12^\circ$) напряжений сжатия, ориентированных близмеридионально (табл. 2). Тип подвижки в очаге – сдвиг. Плоскость разрыва $NP1$ имеет почти такую же диагональную ориентацию ($STK_{NP1}=212^\circ$), как и продольная ось системы изосейст. Это позволяет считать ее истинной плоскостью разрыва в очаге с близвертикальным падением ($DP_{NP1}=80^\circ$) вдоль Бартанг-Пшартского глубинного разлома (№ 8 на рис. 1).

В **Памиро-Гиндукуше (IV)** в 2015 г. лоцировано 6427 землетрясений с $K_p \geq 8.6$ землетрясений на промежуточных глубинах $h=70\text{--}300\text{ км}$, что в 1.5 раза больше, нежели в 2014 году. Их пространственное распределение представлено на рис. 2. Как видим, область землетрясений с $h > 70\text{ км}$ вытянута с востока на юго-запад, существенно меняя по ходу простирание с небольшого широтного участка на крайнем востоке, диагонального в средней части и снова широтного на западе, с заглублением облака гипоцентров и ростом их суммарного числа в субширотной западной части. Поэтому традиционно вся область промежуточных землетрясений подразделяется на три подзоны: Афганскую ($\varphi \leq 36.9^\circ\text{N}$), Хорогскую ($\varphi = 37.0\text{--}37.9^\circ\text{N}$) и Мургабскую ($\varphi = 38.0\text{--}38.8^\circ\text{N}$) [1]. Распределение землетрясений разных энергетических классов по трем подзонам дано в табл. 4.

Таблица 4. Распределение промежуточных землетрясений по энергетическим классам в пределах Афганской, Хорогской и Мургабской подзон в 2015 г.

Подзона	K_p									N_Σ	$\Sigma E, \text{ Дж}$
	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
Мургабская	140 (112)	23 (33)	2 (3)	2 (2)	2(0)	–	–	–	–	169(150)	$1.41 \cdot 10^{13}$
Хорогская	1188 (1070)	168 (211)	20 (27)	12 (7)	3(0)	–	–	–	–	1333(1315)	$3.33 \cdot 10^{13}$
Афганская	4100 (2260)	703 (496)	77 (47)	33 (31)	7(7)	4(2)	1	–	1	4926(2843)	$1.02 \cdot 10^{17}$
Всего	5377 (3444)	888 (740)	99 (77)	46 (40)	11(7)	–	–	–	–	6427(4308)	$1.016 \cdot 10^{17}$

Примечание. В скобках для сравнения представлено количество землетрясений в 2014 г. [1].

В **Афганской подзоне** максимальным явилось Гиндукушское землетрясение 26 октября с $K_p=17.0$, $M_w=7.5$, с $h=230\text{ км}$, $\varphi=36.50^\circ\text{N}$, $\lambda=70.30^\circ\text{E}$ – сильнейшее за последние десятилетия. В Афганистане оно причинило значительный материальный ущерб и привело к гибели более 100 человек [10]. Информация о сотрясениях касательно Таджикистана показана на рис. 4, сведения о 34 пунктах даны. Вне Таджикистана число сотрясенных пунктов равно 180, в основном, в Индии (88) и в Пакистане (45) [13].

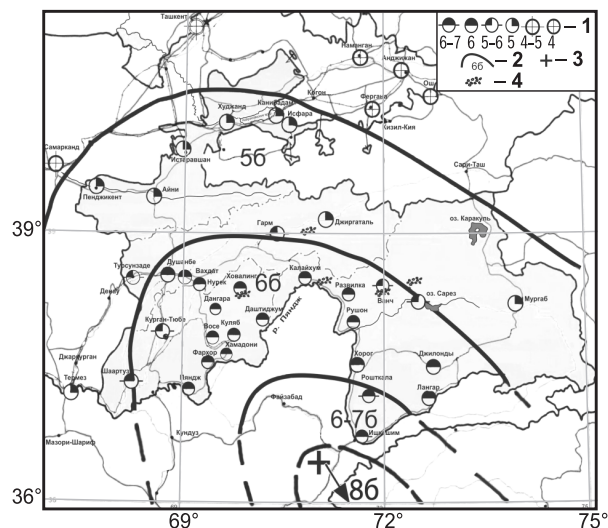


Рис. 4. Карта изосейст Гиндукушского землетрясения 26 октября 2015 г. по данным Таджикистана по Джураеву Р.У. [11].

1 – балл по шкале MSK-64; 2 – изосейста; 3 – инструментальный эпицентр; 4 – камнепады.

Землетрясение представлено двойным толчком с разницей 10^s – в $09^h09^m30^s$ и в $09^h09^m40^s$, в силу чего первый был обработан как отдельный толчок с $K_p=14.0$, $M^p=5.6$. Более того, по результатам анализа широкополосных сигналов GSN в [20] отмечено, что P -волны этого землетрясения показывают его сложным событием с двумя-тремя субсобытиями.

Сейсмичность Гиндукушской зоны обусловлена континентальным столкновением Индийской и Евразийской тектонических плит. Субдукция Индийской плиты под Евразийскую вызывает многочисленные землетрясения и делает этот район одним из наиболее сейсмически опасных на Земле. Как отмечено в [21] и ряде других работ, в районе Гиндукуша предполагается отрыв части опускающейся (Индийской) плиты на глубинах более 180 км. В [16] показано, что Гиндукушское землетрясение 26 октября 2015 г. предварялось миграцией эпицентров землетрясений с $K_p=13-14$ с востока на запад и сопровождалось большим количеством афтершоков (свыше 1400), продолжающих субширотную миграцию в том же направлении, на основании чего сделан вывод, что оно – лишь один из актов последовательного снятия напряжений и деформаций в этой субширотной зоне формирования изгиба и отрыва субдуцирующей Индийской плиты.

В *Хорогской подзоне* рассмотрим только два землетрясения (3 января в 12^h46^m с $K_p=12.5$, $h=120$ км и 28 апреля в 05^h03^m с $K_p=13.0$, $M_w=4.8$, $h=170$ км) ввиду наличия для обоих решений механизмов очагов [15] и макросеймики для второго из них [13]. Как следует из табл. 2, в очаге землетрясения 3 января на глубине 110 км преобладали напряжения растяжения, ориентированные на юго-восток. По обеим нодальным плоскостям, ориентированным в направлении северо-восток–юго-запад, произошел сброс. В очаге землетрясения 28 апреля преобладали напряжения сжатия, ориентированные на север. По плоскости $NP1$ произошел надвиг, по $NP2$ – взброс. Ощущалось землетрясение южнее эпицентра, в Горно-Бадахшанской автономной области с $I_i=3$ балла (г. Хорог с $\Delta=31$ км, г. Ишкашим–83 км), и западнее, в Хатлонской области с $I_i=2-3$ балла (г. Куляб – 194 км, г. Сарбанд (Калининабад) – 262 км, г. Курган-Тюбе – 276 км).

В *Мургабской подзоне* относительно ситуации в 2014 г. несколько увеличилось суммарное число землетрясений (168 вместо 150), заметно – суммарная энергия ($1.41 \cdot 10^{13}$ Дж вместо $2.74 \cdot 10^{12}$ Дж) и максимальная глубина (170 км вместо 150 км). Ощущались два землетрясения: 30 мая в 20^h36^m с $K_p=12.7$ (2 балла в Душанбе, 374 км) и 31 августа в 16^h13^m с $K_p=12.0$, $h=140$ км (2–3 балла в Мургабе, 141 км) [13].

Закключение. Характеризуя сейсмический процесс в Таджикистане с прилегающими к нему территориями за 2015 г., следует отметить максимальную его интенсивность за весь период инструментальных наблюдений как по числу событий (свыше 9000), так и по суммарной энергии (около $2 \cdot 10^{17}$ Дж). Это, в основном, за счет зоны IV промежуточных ($h=70-300$ км) землетрясений с главным толчком 26 октября с $M_w=7.5$ и шлейфом из свыше 1400 афтершоков [16]. Ее сейсмичность обусловлена континентальным столкновением Евразийской и Индийской плит в результате субдукции Индийской плиты под Евразийскую. Столь масштабные процессы в мантии провоцируют мощные подвижки в земной коре как над гипоцентром, так и на значительных расстояниях от эпицентра, что и случилось в 2015 г.: спустя 43 дня после Гиндукушского землетрясения 26 октября с $M_w=7.5$ произошло сильнейшее ($M_w=7.2$) Сарезское-II землетрясение на Памире, в зоне III, сопровождаемое многочисленными (>1300) афтершоками.

Л и т е р а т у р а

1. Улубиева Т.Р., Михайлова Р.С., Рислинг Л.И. Таджикистан // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 102–112. doi: 10.35540/1818-6254.2020.23.09
2. Улубиева Т.Р. Сейсмические станции Геофизической службы АН Республики Таджикистан в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
3. Ачилов Г.Ш., Бабаев А.М., Мирзоев К.М., Михайлова Р.С. Сейсмогенные зоны Памира // Геология и геофизика Таджикистана – Душанбе: Дониш, 1985. – № 1. – С. 117–138.
4. Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км // Экспериментальная сейсмика. (Труды ИФЗ АН СССР; № 32 (199)). – М.: Наука, 1964. – С. 88–93.
5. Каток А.П. Об использовании номограммы Раутиан для энергетической классификации глубоких Памиро-Гиндукушских землетрясений // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. Т. II. – М.: ИФЗ АН СССР, 1974. – С. 139–143.
6. Улубиева Т.Р. (отв. сост.); Рислинг Л.И., Михайлова Р.С., Нилобекова З.М., Маматкулова З.С., Дмитриева Т.Н., Кутузова А.П., Валявская Т.Н., Артёмова Е.В. Каталог землетрясений Таджикистана за 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>

7. International Seismological Centre. (2021). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
8. Сейсмологический бюллетень (сеть телесеismicических станций), 2015. (2021) // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2015
9. Джураев Р.У., Аламов Б.А., Байгенов Д.Ф. Макросейсмическое обследование Сарезского землетрясения 7 декабря 2015 года с $K_p=17.0$, $M_w=7.2$, $I_0=7-8$ // XX Уральская молодежная научная школа по геофизике. Сборник научных материалов. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2019. – С. 226–234.
10. Search Earthquake Catalog. (2021). // USGS [Site]. – URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/2015>
11. Джураев Р.У., Эмомалиев С.М., Аламов Б.А. Проявление Афганского землетрясения 26 октября 2015 года на территории Таджикистана // Труды Института геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН РТ. – Душанбе: Дониш, 2019. – № 2. – С. 197–207.
12. Сарыева Г.Ч. (отв. сост.); Артёмов Е.В., Левина В.И. Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Таджикистана в населенных пунктах Туркменистана в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
13. Улубиева Т.Р., Джураев Р.У., Рислинг Л.И., Нилобекова З.М. (отв. сост.); Артёмов Е.В., Лукаш Н.А., Михайлова Р.С. Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Таджикистана в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
14. Улубиева Т.Р. (отв. сост.); Пойгина С.Г., Бахтиярова Г.М., Артёмов Е.В., Лукаш Н.А. Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Таджикистана за 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
15. Михайлова Р.С., Левина В.И. Каталог механизмов очагов землетрясений Таджикистана за 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
16. Михайлова Р.С., Улубиева Т.Р., Петрова Н.В. Гиндукушское землетрясение 26 октября 2015 г. с $M_w=7.5$, $I_0=7$: предшествующая сейсмичность и афтершоковая последовательность // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – С. 324–339. doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.31
17. Улубиева Т.Р. Афтершоки землетрясения 20 мая 2015 г. с $K_p=12.7$ // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
18. Негматуллаев С.Х., Джураев Р.У., Улубиева Т.Р. Сарезское землетрясение 7 декабря 2015 г. // Вестник НЯЦ РК. – 2018. – № 2. – С. 171–176.
19. Голицын Б.Б. О землетрясении 18 февраля 1911 г. // Известия Российской академии наук. – 1915. – Т. 9, № 10. – С. 991–998.
20. Hayes G.P., Myers E.K., Dewey J.W., Briggs R.W., Earle P.S., Benz H.M., Smoczyk G.M., Flamme H.E., Barnhart W.D., Gold R.D. and Furlong K.P. Tectonic summaries of magnitude 7 and greater earthquakes from 2000 to 2015. – US Geological Survey, 2017. – N 2016–1192. – 148 p.
21. Kufner S.K., Schurr B., Haberland C., Zhang Y., Saul J., Ischuk A., Oimahmadov I. Zooming into the Hindu Kush slab break-off: A rare glimpse on the terminal stage of subduction // Earth and Planetary Science Letters. – 2017. – V. 461. – P. 127–140.

SEISMICITY of TAJIKISTAN and ADJACENT TERRITORIES in 2015

T.R. Ulubieva¹, R.S. Mikhailova², L.I. Risling¹, R.U. Juraev³

¹*Geophysical Survey of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan,
Dushanbe, Tajikistan, tanya_55_08@mail.ru*

²*Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Obninsk, Russia, rm-gs@mail.ru*

³*Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology
of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan, dzhuraev52@mail.ru*

Abstract. The seismic monitoring system consisting of seven digital stations continued to operate in Tajikistan in 2015. This network has registered 9071 earthquakes with $K_R=8.6-17.0$, 6427 of which were Pamir-Hindu Kush earthquakes with intermediate depths ($h=70-300$ km), and 2644 were shallow events. The total seismic energy released was $\Sigma E=1.815 \cdot 10^{17}$ J. The strongest for 2015 was the Hindu Kush earthquake on October 26 with $M_w=7.5$, $h=230$ km ($h_{ep}=217$ km) that occurred near the southern borders of the Republic. This earthquake

caused significant damage and the death of at least 115 people. It was felt on the territory of 14 states, with a total shaking area of more than $14 \cdot 10^6 \text{ km}^2$. A detailed isoseismal map of this earthquake is given for the Tajikistan territory only. The earthquake was accompanied by a series of over 1400 aftershocks with $K_R=8.6-12.8$, unexpectedly numerous for a deep earthquake. Within the borders of the Republic, the Sarez-II earthquake occurred near the Lake of Sarez on December 7 with $M_w=7.2$, $h=20 \text{ km}$, $I_0=8$, was the strongest one. Undoubtedly, it was triggered by the Hindu Kush earthquake on October 26. In total, more than 500 houses were damaged, dozens of people were injured, and there were human casualties. A detailed isoseismal map of this earthquake was made for four levels of intensity – $I=7, 6, 5$ and 4 . The number of its aftershocks for 24 days only was 1342, with $K_R=8.6-13.9$. As a result the level of seismicity in Tajikistan in 2015, both in terms of the number of earthquakes and the level of released seismic energy, was the highest during the period of instrumental observations.

Keywords: digital stations, seismicity, hearth mechanism, isoseist map, Pamir-Hindu Kush, Usoe blockage, Sarez earthquakes of 1911 and 2015.

DOI: 10.35540/1818-6254.2021.24.09

For citation: Ulubieva, T.R., Mikhailova, R.S., Risling, L.I., & Juraev, R.U. (2021). [Seismicity of Tajikistan and adjacent territories in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015), 103–112. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.09

R e f e r e n c e s

1. Ulubieva, T.R., Mikhailova, R.S., & Risling, L.I. (2020). [Tajikistan]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), 102–112. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2020.23.09
2. Ulubieva, T.R. (2021). [Seismic stations of the Geophysical Survey, Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
3. Achilov, G.Sh., Babaev, A.M., Mirzoev, K.M., & Mikhailova, R.S. (1985). [Seismic zones of Pamir]. In *Geologiya and Geofizika of Tajikistan* [Geology and Geophysics of Tajikistan] (pp. 117–138). Dushanbe, Tajikistan: Donish Publ. (In Russ.).
4. Rautian, T.G. (1964). [On the determination of the energy of earthquakes at a distance of 3000 km]. In *Eksperimental'naia seismika. Trudy IFZ AN SSSR № 32(199)* [Experimental seismic. Proceedings of the IFZ SA USSR № 32(199)] (pp. 88–93). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
5. Katok, A.P. (1974). [On the use of the Rautian nomogram for the energy classification of deep Pamir-Hindu Kush earthquakes]. In *Magnituda i energeticheskaya klassifikatsiya zemletriaseniy. II* [Magnitude and earthquake energy classification. II] (pp. 139–143). Moscow, Russia: IFZ AN SSSR Publ. (In Russ.).
6. Ulubieva, T.R., Risling, L.I., Mikhailova, R.S., Nilobekova, Z.M., Mamatkulova, Z.S., Dmitrieva, T.N., Kutuzova, A.P., Valiavskaia, T.N., & Artemova, E.V. (2021). [Catalog of Tajikistan earthquakes for 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
7. International Seismological Centre. (2021). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
8. GS RAS. (2021). Bulletin of Teleseismic Stations, 2015. Retrieved from ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2015
9. Juraev, R.U., Alamov, B.A., & Baigenov, D.F. (2019). [Makroseismic survey of the Sarez earthquake December 7, 2015 with $K_R=17.0$, $M_w=7.2$, $I_0=7-8$]. In *XX Ural'skaya molodezhnaya shkola po geofizike. Cbornik nauchnykh materialov* [XX Ural youth scientific school of Geophysics. Collection of scientific materials] (pp. 226–234). Perm, Russia: GL UB RAS. (In Russ.).
10. USGS. (2021). Search Earthquake Catalog. Retrieved from <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/2015>
11. Juraev, R.U., Emomaliev, C.V., & Alamov, D.A. (2019). [The structure of the Afgan Government on October 26, 2015 on the territory of Tajikistan]. In *Trudy Instituta geologii, sejsmostojkogo stroitel'stva i sejsmologii AN RT* [Proceedings of the Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology of Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan] (pp. 197–207). Dushanbe, Tajikistan: Donish Publ. (In Russ.).
12. Saryeva, G.Ch., Artemova, E.V., & Levina, V.I. (2021). [The macroseismic effect of tangible earthquakes in Tajikistan on the points in Turkmenistan in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).

13. Ulubieva, T.R., Risling, L.I., Nilobekova, Z.M., Artemova, E.V., Lukash, N.A., & Mikhailova, R.S. (2021). [The macroseismic effect of tangible earthquakes in Tajikistan in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
14. Ulubieva, T.R., Poigina, S.G., Bakhtiarova, G.M., Artemova, E.V., & Lukash, N.A. (2021). [Information on the points for which there is information about macroseismic manifestations of tangible earthquakes in Tajikistan for 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
15. Mikhailova, R.S., & Levina, V.I. (2021). [Catalog of focal mechanisms of Tajikistan earthquakes for 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
16. Mikhailova, R.S., Ulubieva, T.R., & Petrova, N.V. (2021). [The Hindu Kush earthquake on October 26, 2015 with $M_w=7.5$, $I_0\sim 7$: prior seismicity and aftershock sequence]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015), 324–339. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.31
17. Ulubieva, T.R. (2021). [The aftershocks of earthquake of May 20, 2015 with $K_R=12.7$, $N_\Sigma=333$]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
18. Negmatullaev, S.H., Juraev, R.U., & Ulubieva, T.R. (2018). [Sarezskoye earthquake of December 7, 2015]. *Vestnik NIATs RK* [Bulletin of NNC RK], 2, 171–176. (In Russ.).
19. Golitsyn, B.B. (1915). [About earthquake on February 18, 1911]. *Izvestiia Rossiiskoi akademii nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences], 9(10), 991–998. (In Russ.).
20. Hayes, G.P., Myers, E.K., Dewey, J.W., Briggs, R.W., Earle, P.S., Benz, H.M., Smoczyk, G.M., Flamme, H.E., Barnhart, W.D., Gold, R.D., & Furlong, K.P. (2017). Tectonic summaries of magnitude 7 and greater earthquakes from 2000 to 2015 (№ 2016–1192). *US Geological Survey*.
21. Kufner, S.K., Schurr, B., Haberland, C., Zhang, Y., Saul, J., Ischuk, A., & Oimahmadov, I. (2017). Zooming into the Hindu Kush slab break-off: A rare glimpse on the terminal stage of subduction. *Earth and Planetary Science Letters*, 461, 127–140.