

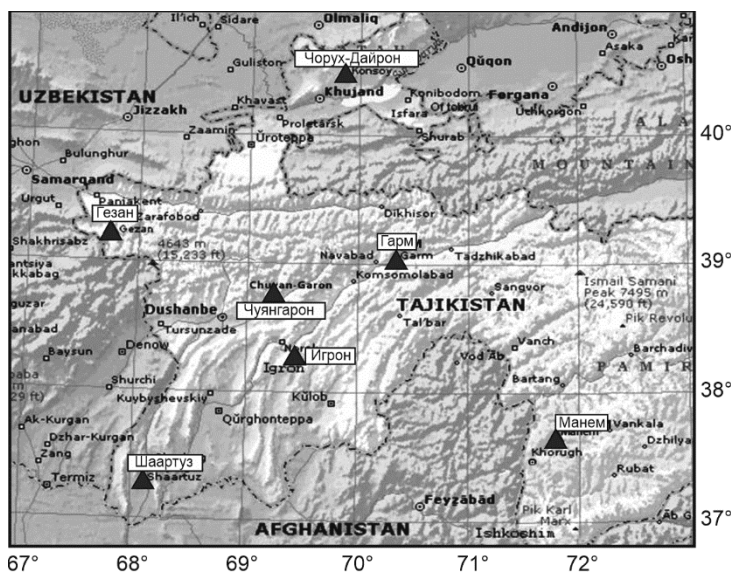
**СЕЙСМИЧНОСТЬ ТАДЖИКИСТАНА и ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ в 2018–2019 гг.****Т.Р. Улубиева<sup>1</sup>, Р.С. Михайлова<sup>2</sup>, Л.И. Рислинг<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Геофизическая служба Национальной академии наук Таджикистана, г. Душанбе, [tanua\\_55\\_08@mail.ru](mailto:tanua_55_08@mail.ru)<sup>2</sup>ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, [tm-gs@mail.ru](mailto:tm-gs@mail.ru)

**Аннотация.** В 2018–2019 гг. сейсмический мониторинг территории Таджикистана с прилегающими районами нескольких государств осуществлялся сетью из семи цифровых сейсмических станций Геофизической службы НАН Республики Таджикистан. Всего за два года зарегистрировано 17 195 землетрясений в диапазоне энергетических классов  $K_p=8.6–14.9$ , из них 2870 – мелкофокусные с  $h<70$  км, разбросанные по всей территории Юго-Западного Тянь-Шаня (зона I), Южного Тянь-Шаня (II), коровые Памиро-Гиндукуша (III), и 14325 – с промежуточными глубинами  $h=70–310$  км, локализованные в Памиро-Гиндукушской зоне IV. Ощутимыми были 112 землетрясений, два из них, Сарихосорские, 6-балльное 29 марта 2018 г. с  $K_p=13.1$  и 5–6-балльное 7 марта 2019 г. с  $K_p=12.1$ , были обследованы с построением карт изосейст и описаны в отдельной статье данного выпуска журнала. Наиболее сильные (с  $M_w>6$ ) землетрясения группировались в зоне IV промежуточных глубин очагов Гиндукуша как в 2018 г. (31 января с  $K_p=14.8$ ,  $M_w=6.2$ ,  $h=200$  км и 9 мая с  $K_p=14.9$ ,  $M_w=6.3$ ,  $h=105$  км), так и в 2019 г. (20 декабря с  $K_p=14.8$ ,  $M_w=6.2$ ,  $h=209$  км). Все заметные землетрясения с очагами в земной коре возникли в зоне Южного Тянь-Шаня (II) в системе близширотных Южно-Гиссарского и Илякско-Вахшского глубинных разломов и сопровождались большими сериями афтершоков как в 2018 г. (29 марта с  $K_p=13.1$ ,  $N_{\Sigma,афт}=521$ ; 17 сентября и 5 декабря с  $K_p=12.0$ ,  $N_{\Sigma,афт}=59$ ), так и в 2019 г. (7 марта с  $K_p=12.1$ ,  $N_{\Sigma,афт}=53$ ).

**Ключевые слова:** коровые землетрясения, промежуточные землетрясения, Памиро-Гиндукуш, сейсмическая энергия, афтершок, интенсивность сотрясений.

**Для цитирования:** Улубиева Т.Р., Михайлова Р.С., Рислинг Л.И. Сейсмичность Таджикистана и прилегающих территорий в 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – С. 111–119. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.09> EDN: YVJCIU

**Введение.** Регистрация землетрясений в 2018–2019 гг. на территории Таджикистана и соседних стран производилась единой сетью из семи цифровых сейсмических станций Геофизической службы НАН Таджикистана (ГС НАНТ). Создание годовых каталогов сейсмичности с включением разрозненных макросейсмических данных и другие сейсмологические исследования осуществлялись в ГС НАНТ. Макросейсмическое обследование двух Сарихосорских ощутимых землетрясений – 29 марта 2018 г. с  $K_p=13.1$ ,  $M_s=5.1$ ,  $I_0=6$  баллов и 7 марта 2019 г. с  $K_p=12.1$ ,  $M_s=4.5$ ,  $I_0=5–6$  баллов – выполнено другим академическим учреждением – Институтом геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии (ИГССС НАНТ).



**Рис. 1.** Сеть цифровых широкополосных сейсмических станций на территории Таджикистана

**Система наблюдений,** как и ранее [1], состояла из семи цифровых широкополосных сейсмических станций Trident+Trillium40: «Чуянгарон», «Гарм», «Гезан», «Игрон», «Шаартуз», «Манем» и «Чорух-Дайрон», координаты и параметры которых приведены в [Прил. 1]. Карта расположения сейсмических станций дана на рис. 1.

**Методика наблюдений.** Границы исследуемой территории, заключенной в пределах координат

36–40°N, 67–75°E и 40–41°N, 69–71°E, и схема деления на четыре сейсмоактивные зоны Таджикистана, представленные на рис. 2, не изменились, хотя обработка землетрясений проводилась и вне указанных границ.

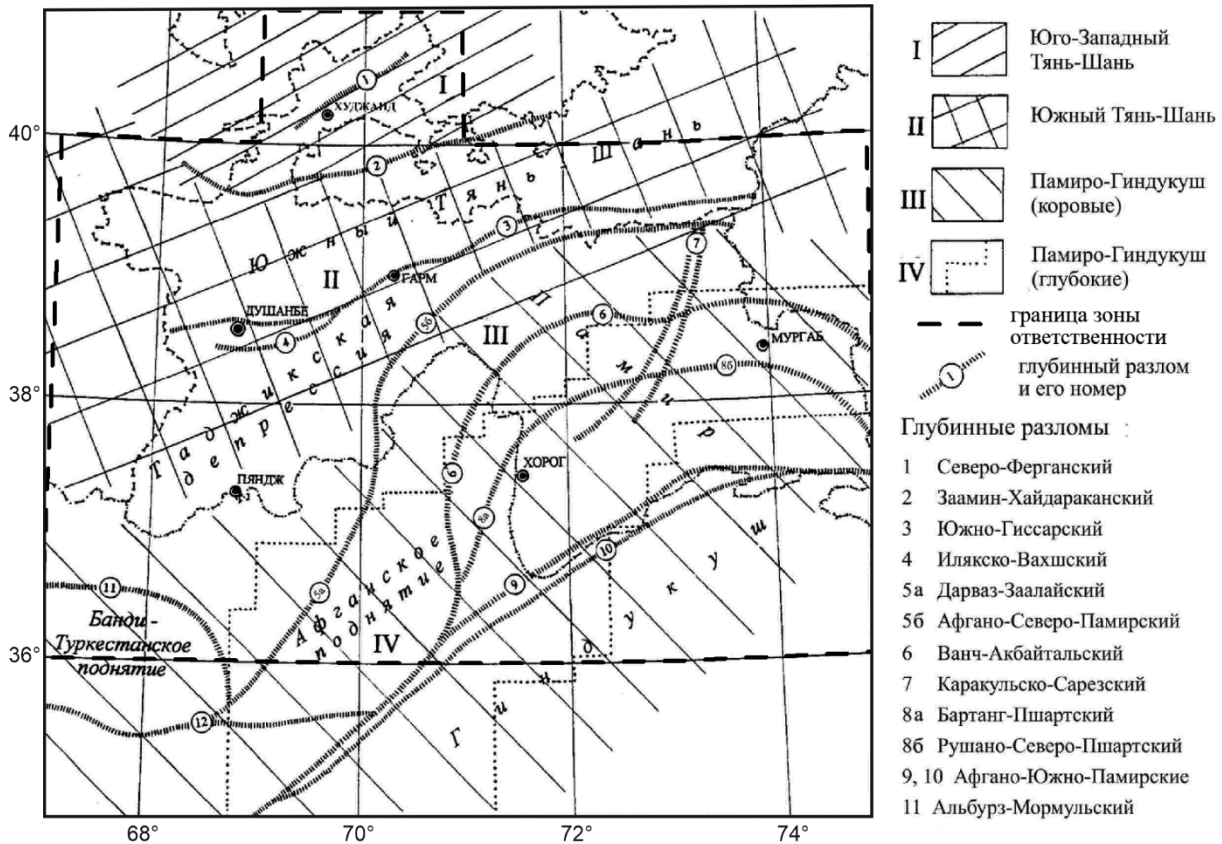


Рис. 2. Сейсмоактивные зоны I–IV Таджикистана и глубинные разломы по [2]

Методика обработки цифровых записей землетрясений несколько изменилась. 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 космического спутника «Intelsat». Передача информации происходит непрерывно в режиме реального времени. С января по апрель 2018 г. для обработки и анализа сейсмических данных использовалось то же программное обеспечение, что и в предыдущие годы [1]: CoreEarthworm – пакет для автоматической обработки землетрясений, включающий в себя программу определения координат гипоцентра Nuproinverse, где собраны годографы и геологические характеристики региона, и Oracle – базу данных для хранения сейсмической информации и программу для обработки сейсмической информации вручную.

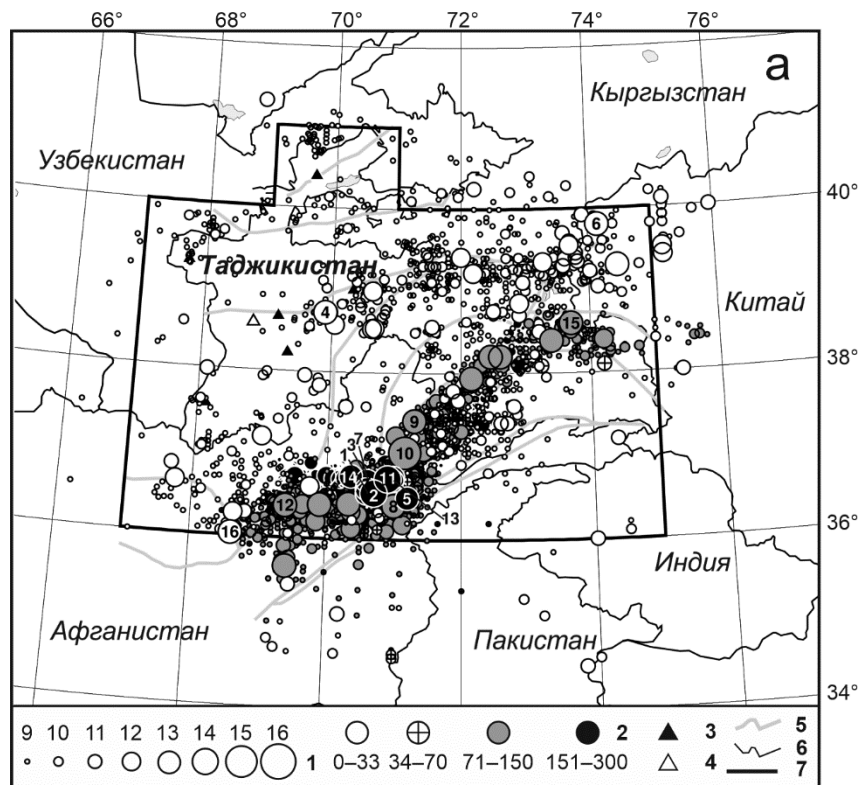
С мая 2018 г. начался переход на автоматизированную интерпретацию основных параметров очагов землетрясений в новой версии обработки по другому программному обеспечению: ApolloServer – программа для сбора и временного хранения сейсмических данных, Apollo Project – программа автоматической обработки, анализа и архивации сейсмических данных. Теперь каждый эпицентр анализируется и включается в каталог с учетом погрешности  $\delta t_0$  определения времени  $t_0$  в очаге с точностью до 0.01 с; погрешности географических координат толчков ( $\varphi$  и  $\lambda$ )  $\delta$  (в км) с точностью до 0.1 км. Географические координаты землетрясений представлены теперь в каталоге с точностью до 0.001° против 0.01° в прежних каталогах. Кроме того, реализована процедура расчета энергии землетрясений больших магнитуд с  $M > 5.6$  по формуле  $\lg E = 1.1M + 8$  из [3] с последующим переходом к расчетному классу  $K_{\text{расч.}} = \lg E$ . Конкретно в качестве магнитуды *ред.* выбрана  $M_{\text{WGCMT}}$  [Прил. 2]. Число землетрясений с  $M_{\text{WGCMT}} > 5.6$  в 2018–2019 гг. оказалось равным 5. Они представлены в табл. 1 с исходными и пересчетными значениями классов.

Таблица 1. Список землетрясений с  $M_{WGCMT} > 5.6$  в 2018–2019 гг.

№	Дата дн мес год	$t_0$ ч мин с	$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$	$h$ , км	$K_p$	$M_{WGCMT}$	$K_{расч.}$
1	31.01.2018	07 07 00	36.550	70.700	200	14.4	6.2	14.8
2	09.05.2018	10 41 45.16	37.038	71.154	105	15.1	6.3	14.9
3	02.02.2019	12 04 33.98	36.608	70.571	210	14.1	5.7	14.3
4	08.08.2019	00 45 26.45	36.718	69.989	227	14.4	5.9	14.5
5	20.12.2019	11 39 52.63	36.701	70.342	209	14.8	6.2	14.8

**Каталоги землетрясений и карты эпицентров** за 2018–2019 гг. В результате сводной обработки составлен каталог землетрясений Таджикистана и прилегающих к нему районов Узбекистана, Кыргызстана, Китая – на севере, Афганистана, Пакистана, Индии – на юге [Прил. 2]. В них из бюллетеней [4, 5] традиционно включены значения магнитуд по поверхностным ( $M_S, M_s$ ), объемным ( $M_{PSP}, mb$ ) волнам и моментная ( $M_w$ ) магнитуда вместе с сейсмическим моментом  $M_0$ . В макросейсмическом каталоге [Прил. 3] собраны сведения об ощутимости 112 землетрясений из регионального каталога [Прил. 2], данных из сейсмологического бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН [5], каталога USGS [6], результатов макросейсмических обследований ИГССС НАНТ Сарихосорских землетрясений 29 марта 2018 г. и 7 марта 2019 г. [7]. Общее число сотрясенных в 2018–2019 гг. населенных пунктов составило 213, о которых в *ред.* собраны краткие сведения, включенные в [Прил. 4]. В каталоге механизмов очагов, созданном в *ред.*, содержится 61 землетрясение [Прил. 5], для которых в [4] найдены 108 решений параметров механизмов очагов от разных агентств (GCMT, NEIC, GFZ, IPGP, ISC).

Итоговый каталог Таджикистана за 2018–2019 гг. содержит 17195 землетрясений в диапазоне  $K_p=8.6-14.9$ , из них 14325 – глубокофокусные Памиро-Гиндукушские землетрясения с  $h \geq 70$  км и 2870 – мелкофокусные толчки с  $h < 70$  км, разбросанные по всей территории. Минимальная глубина гипоцентра  $h=1$  км присвоена 212 землетрясениям с  $K_p=9-12$ , а максимальная –  $h=310$  км – характеризует землетрясение 18 августа 2018 г. в  $13^h08^m$  с  $K_p=8.7$ , локализованное в мантии, в пределах Афганской подзоны глубоких очагов. Суммарная энергия всех землетрясений, выделившаяся в их очагах, равна  $\Sigma E=3.35 \cdot 10^{15}$  Дж. Наиболее заметные ( $K_p \geq 13.0$ ) события за 2018–2019 гг., число которых составило  $N=16$  за 2018 г. и  $N=14$  за 2019 г., пронумерованы на годовых картах эпицентров (рис. 3 а, б).



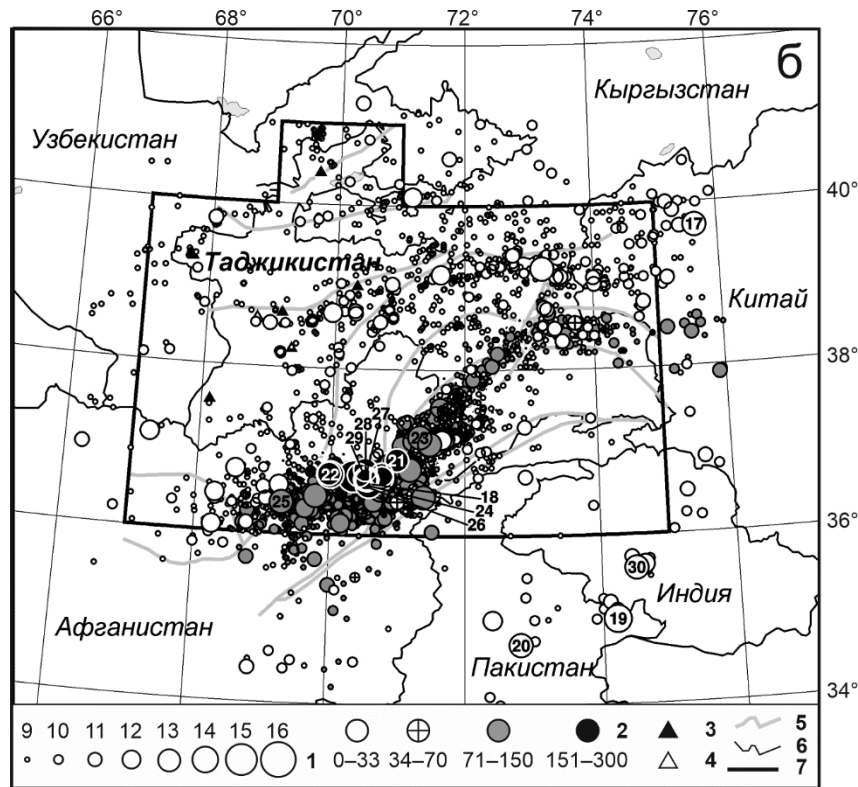


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений Таджикистана и прилегающих территорий с  $K_p \geq 8.6$  за 2018 г. (а) и 2019 г. (б)

1 – энергетический класс  $K_p$ ; 2 – глубина гипоцентра  $h$ , км; 3 – цифровая сейсмическая станция; 4 – центр сбора и обработки данных цифровых станций в Душанбе; 5 – глубинный разлом I-го порядка по [2]; 6 – государственная граница; 7 – граница зоны ответственности.

Максимальный энергетический класс для коровых землетрясений в каталоге составил  $K_p=13.6$ ,  $M_{WGCMT}=5.3$ . Землетрясение такой величины (19 на рис. 3 б) зарегистрировано 5 февраля 2019 г. в  $16^h47^m$  с  $h=10$  км вне границ Таджикистана, на границе Индии и Пакистана. Для глубоководных землетрясений максимальный класс составил  $K_p=14.9$ ,  $M_{WGCMT}=6.3$ ,  $h=105$  км. Землетрясение такой силы (10 на рис. 3 а) зарегистрировано 9 мая 2018 г. в  $10^h41^m$  и ощущалось на территории Таджикистана до 5 баллов в Хороге (62 км), Ишкашима (54 км), Курган-Тюбе (226 км); 4–5 баллов – в Душанбе (268 км); 3 балла – в Худжанте (384 км). В табл. 2 дано распределение землетрясений по энергетическим классам и суммарной сейсмической энергии.

Таблица 2. Распределение числа землетрясений 2018 – 2019 гг. по энергетическим классам  $K_p$  и суммарной сейсмической энергии  $\Sigma E$  по сейсмоактивным зонам I–IV

№ зоны	Год	$K_p$							$N_\Sigma$	$\Sigma E, Дж$
		9	10	11	12	13	14	15		
I	2018	61	3	2	–	–	–	–	66	$1.44 \cdot 10^{12}$
	2019	71	9	2	1	–	–	83		
	Всего	132	12	4	1	–	–	149		
II	2018	308	64	11	5	2	–	–	390	$5.75 \cdot 10^{13}$
	2019	321	47	9	1	1	–	–	379	
	Всего	631	111	20	6	3	–	–	769	
III	2018	805	102	30	12	2	–	–	951	$1.37 \cdot 10^{14}$
	2019	841	122	25	9	3	1	–	1001	
	Всего	1646	224	55	21	5	1	–	1952	
IV	2018	6281	735	82	34	18	2	1	7153	$3.15 \cdot 10^{15}$
	2019	6328	678	109	38	16	2	1	7172	
	Всего	12609	1413	191	72	34	4	2	14325	
I–IV	2018–2019	15016	1760	270	100	42	5	2	17195	$3.35 \cdot 10^{15}$

По сравнению с периодом 2016–2017 гг. [1], произошло уменьшение числа землетрясений в зонах I, II и III (149, 769 и 1952 вместо 178, 829 и 3875) и увеличение – в зоне IV (14325 вместо 12973).

Рассмотрим детально сейсмичность в каждой из зон I–IV.

На территории **Юго-Западного Тянь-Шаня (I)** выделившаяся за два года сейсмическая энергия, равная  $1.44 \cdot 10^{12}$  Дж (табл. 2), традиционно минимальна из 4-х зон. Число зарегистрированных здесь в 2018 г. и в 2019 г. землетрясений с  $K_p \geq 8.6$  составило 66 и 83, против 102 и 76 в 2016 г. и 2017 г. [1] соответственно. Максимальным, с  $K_p=11.9$ , явилось землетрясение за 16 июля 2019 г. в  $10^{\text{h}}45^{\text{m}}$  с  $\varphi=40.11^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=71.16^\circ\text{E}$ ,  $h=10$  км [Прил. 2]. Согласно приведенной выше схеме разломов (рис. 2) исследуемой территории, оно приурочено непосредственно к Заамин-Хайдараканскому разлому (№ 2) в его северо-восточной части.

Максимальный уровень энергии на территории **Южного Тянь-Шаня (II)** – соответствует землетрясениям тринадцатого класса. Такие землетрясения зарегистрированы 29 марта 2018 г. в  $22^{\text{h}}54^{\text{m}}$  с  $K_p=13.1$  (4 на рис. 3 а), 3 апреля 2018 г. в  $08^{\text{h}}14^{\text{m}}$  с  $K_p=13.2$  (6 на рис. 3 а) и 12 января 2019 г. в  $04^{\text{h}}32^{\text{m}}$ ,  $K_p=13.3$  (17 на рис. 3 б) [Прил. 2]. Эпицентры последних двух событий расположены вне границ Республики, поэтому преимущество в детальном рассмотрении за первым из них, которое возникло в наиболее активной в 2018–2019 гг. северо-восточной части Таджикской депрессии, вдоль Южно-Гиссарского (№ 3) и Илякско-Вахшского (№ 4) разломов на рис. 2. Здесь, в пределах Вахшского надвига, в 18.5 км к востоку от г. Рогуна, 29 марта в  $22^{\text{h}}54^{\text{m}}$  возникло землетрясение (4 на рис. 3 а) с  $K_p=13.1$ ,  $\varphi=38.72^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=69.89^\circ\text{E}$ ,  $I_0=6$ , обследованное ИГССС НАНТ и описанное в отдельной статье [7] настоящего выпуска журнала. Очаг находился на глубине 5 км в восточной ветви Илякско-Вахшского глубинного разлома, в 15 км восточнее акватории будущего Рогунского водохранилища. В Рогуне ( $\Delta_{\text{мкр}}=19$  км) его ощущали с  $I_i=4-5$  баллов, в Душанбе ( $\Delta_{\text{мкр}}=102$  км) – 2–3 балла. Это землетрясение сопровождалось громадной ( $N_\Sigma=521$ ) серией афтершоков, наиболее сильные из которых, с  $K_p=11.6$  и 11.4, случились вскоре после главного толчка – через полчаса (29 марта в  $23^{\text{h}}24^{\text{m}}$ ) и через два часа (30 марта в  $02^{\text{h}}10^{\text{m}}$ ) на расстоянии 16 и 14 км от Рогуна с  $I_i=3$  балла [Прил. 3]. Согласно фондовому каталогу слабых землетрясений Душанбино-Вахшского района [8], до конца марта месяца, т.е. всего лишь за двое суток, здесь зарегистрировано 125 повторных толчков с  $K_p=6.0-11.6$  и еще 396 толчков с  $K_p=5.7-10.4$  – до конца года [Прил. 6]. Это уже, собственно, не длинная серия афтершоков после среднего по энергии ( $K_p=13.1$ ) главного толчка, а неравновесное состояние значительного объема Вахшского хребта, приведшее, в том числе, к новой серии из 53 афтершоков с  $K_p=5.2-9.5$  [Прил. 7] после землетрясения 7 марта 2019 г. с  $K_p=12.1$ , в 7 км от предыдущего ( $\varphi=38.67^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=69.94^\circ\text{E}$ ). Оно также обследовано и описано [7]. Этот очаг находился глубже ( $h=15$  км), в средней части гранитного слоя земной коры. Эпицентральная зона землетрясения лежит на северо-западном склоне Вахшского хребта, на террасах левого берега Верхнего Вахша и в непосредственной близости от разломов, Илякско-Вахшского (№ 4) и Южно-Гиссарского (№ 3). Согласно [7], увеличение сейсмической активности данного района может быть связано с началом заполнения в 2016–2017 гг. водохранилища строящейся Рогунской ГЭС, в 13–18 км западнее эпицентров землетрясений 29 марта 2018 г. и 7 марта 2019 года.

Далее на восток, на территории между Южно-Гиссарским (№ 3) и Дарваз-Заалайским (№ 5 а) разломами, на глубине 20 км зафиксирован толчок 12 января 2018 г. в  $03^{\text{h}}40^{\text{m}}$  с  $K_p=11.9$ ,  $\varphi=38.57^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=70.04^\circ\text{E}$ . Его эпицентр расположен в 18 км север-северо-восточнее Сарихосора и в 29 км северо-восточнее Рогуна. Оно ощущалось в Рогуне и Дарбанде с  $I_i=4$  балла; в Новобадде 3–4 балла и в г. Душанбе 2–3 балла. В районе Сангвор, в 21–23 км к юго-востоку от Тавильдары, отмечены два ощутимых толчка с  $K_p=12.0$ , зафиксированные в 2018 г.: 17 сентября в  $19^{\text{h}}00^{\text{m}}$  и 5 декабря в  $15^{\text{h}}18^{\text{m}}$  [Прил. 3]. Очаги этих толчков, расположенные на глубине 9–13 км, связаны с центральной частью Дарваз-Заалайского разлома. Согласно [Прил. 8], они сопровождались афтершоками –  $N_\Sigma=45$  и 14 соответственно. Можно отметить землетрясение с  $K_p=11.7$ , зарегистрированное 30 апреля 2018 г. в  $12^{\text{h}}57^{\text{m}}$  на глубине  $h=10$  км в зоне сближения Южно-Гиссарского и Дарваз-Заалайского разломов, в 22 км юго-восточнее Гарма, вызвавшее там колебания с  $I_i=3-4$  балла.

В 2019 г. зона Илякско-Вахшского разлома (№ 4) четко трассируется к востоку эпицентрами семи ощутимых землетрясений с  $K_p=9.0-11.1$ ,  $I_i$  от 2 до 3–4 баллов. По их эпицентрам (22.01 в  $04^{\text{h}}33^{\text{m}}$ , 20.02 в  $01^{\text{h}}27^{\text{m}}$  и  $01^{\text{h}}35^{\text{m}}$ , 27.02 в  $10^{\text{h}}25^{\text{m}}$  и  $10^{\text{h}}27^{\text{m}}$ , 30.05 в  $08^{\text{h}}57^{\text{m}}$ , 16.12 в  $01^{\text{h}}44^{\text{m}}$  [Прил. 2, 3])

довольно определенно выделяется западная ветвь Илякско-Вахшского разлома на отрезке 23 км. Очаги толчков находились в 6–20 км от г. Душанбе на глубине 7–19 км. Всего за два года на территории Душанбино-Вахшского района отмечено 27 ощутимых землетрясений.

На юге Таджикской депрессии, в непосредственной близости от г. Куляб, примерно в 3–11 км, в 2018 г., 26 марта в 10<sup>h</sup>25<sup>m</sup> и 30 декабря в 10<sup>h</sup>02<sup>m</sup>, зарегистрированы два толчка с  $K_p=10.1$  и 11.1 на глубинах 10 и 22 км. Интенсивность сотрясений в г. Куляб составила 3 и 3–4 балла соответственно [Прил. 3].

**В Памиро-Гиндукушской зоне (III)** максимальный энергетический класс составил  $K_p=13.6$ . Землетрясение такой величины зарегистрировано вне границ Таджикистана (19 на рис. 3 б) 5 февраля 2019 г. в 16<sup>h</sup>47<sup>m</sup>, глубина очага  $h=10$  км [Прил. 2]. В этой же области отмечены по два толчка с  $K_p=13$  и с  $K_p=12$ . Но предпочтительнее рассмотреть ближние области Памира и Банди-Туркестана.

На Северном Памире 2 июня 2018 г. в 08<sup>h</sup>45<sup>m</sup> и 1 июля 2019 г. в 01<sup>h</sup>14<sup>m</sup> возникли землетрясения с  $K_p=12.1$  и 12.4. Второе из них ощущалось в пгт Джиргаталь (36 км) с  $I_i=2–3$  балла. Эпицентры находились к северо-востоку и к юго-востоку от пгт Джиргаталь в восточной части Дарваз-Заалайского разлома (№ 5 а). В восточной части Северного Памира 6 мая 2018 г. в 03<sup>h</sup>17<sup>m</sup> и 29 апреля 2019 г. в 00<sup>h</sup>23<sup>m</sup> зафиксированы землетрясения с  $K_p=12.4$  и 12.9. Их очаги с  $h=26$  и 10 км связаны с северной оконечностью Каракульско-Сарезского (№ 7) разлома.

В северной части Южного Памира, в 17 км к югу от оз. Сарез, 22 марта 2018 г. в 21<sup>h</sup>32<sup>m</sup> зафиксирован сейсмический толчок с  $K_p=9.5$ ,  $I_i=3$  балла, приуроченный к зоне пересечения южной части Каракульско-Сарезского (№ 7) и центральной части Бартанг-Пшартского (№ 8 а) разломов. В юго-западной части Южного Памира зарегистрировано событие 24 ноября 2019 г. в 02<sup>h</sup>10<sup>m</sup> с  $K_p=12.5$ ,  $h=4$  км, с небольшим количеством афтершоков. Его эпицентр находился в 39 км к юго-востоку от г. Хорог, где интенсивность сотрясений достигла 3 баллов. В северо-западной части Южного Памира 13 декабря 2018 г. в 13<sup>h</sup>20<sup>m</sup> зарегистрировано землетрясение с  $K_p=11.5$ ,  $h=7$  км. Эпицентр этого очага, приуроченный к южному склону центральной части Рушанского хребта в зоне Рушано-Северо-Пшартского разлома (№ 8 б), расположен в 35 км к юго-востоку от Рушана и в 43 км к северо-востоку от Хорога, где интенсивность сотрясений достигала 3–4 баллов. Юго-восточнее Мургаба (в 22 км) 15 января 2018 г. отмечено землетрясение с  $K_p=11.4$ ,  $h=60$  км, вызвавшее в нем сотрясения с  $I_i=3–4$  балла [Прил. 3].

В 2018 г. в зоне Банди-Туркестанского поднятия зарегистрирован один толчок с  $K_p=13.0$  (28 ноября в 14<sup>h</sup>44<sup>m</sup>, 16 на рис. 3 а) и два с  $K_p=12.4$  и 11.6 (16 и 25 ноября в 04<sup>h</sup>48<sup>m</sup> и 06<sup>h</sup>28<sup>m</sup> соответственно). Все они расположены в зоне Альбурз-Мормульского разлома (№ 11), причем землетрясение 16 ноября с  $h=9$  км приурочено к западной его части, а другие два, с  $h=13$  и 28 км, – к юго-восточному окончанию. В 2019 г. в Афганской депрессии, в области сближения Банди-Туркестанского поднятия и западных отрогов Гиндукуша, между Альбурз-Мормульским (№ 11) и Афгано-Северопамирскими разломами (№№ 9, 10), сосредоточены четыре землетрясения с  $K_p=12(\pm 0.5)$ : 4 мая в 05<sup>h</sup>53<sup>m</sup> с  $K_p=12.5$ ,  $h=27$  км; 26 июля в 13<sup>h</sup>00<sup>m</sup> с  $K_p=11.8$ ,  $h=23$  км; 22 сентября в 05<sup>h</sup>02<sup>m</sup> с  $K_p=12.5$ ,  $h=15$  км; 3 декабря в 06<sup>h</sup>06<sup>m</sup> с  $K_p=11.7$ ,  $h=20$  км. На территории Таджикистана ощущалось лишь последнее из них в Шаартузе ( $\Delta=80$  км) с  $I_i=2–3$  балла, а также в Афганистане (Мазари Шериф, 28 км) и Туркменистане (Магданлы, 131 км) с  $I_i=2–3$  балла [Прил. 3].

**Памиро-Гиндукушская зона (IV).** Сейсмичность этой зоны обусловлена континентальным столкновением Индийской и Евразийской тектонических плит, которые сходятся с относительной скоростью 40–50 мм в год [9]. Субдукция Индийской плиты под Евразийскую вызывает многочисленные землетрясения и делает этот район одним из наиболее сейсмически опасных на Земле. В 2018–2019 гг. в этой зоне локализовано 14325 землетрясений с  $K_p \geq 8.6$  с суммарной энергией  $\Sigma E = 3.15 \cdot 10^{15}$  Дж на промежуточных глубинах  $h=70–310$  км. Максимальная глубина в 310 км отмечена для землетрясения 18 августа 2018 г. с  $K_p=8.7$  в пределах Северного Афганистана (36.77°N, 69.36°E). Практически здесь же, с  $h=291$  км, 276 км, 293 км и координатами (36.90°, 69.76°; 36.77°, 69.52°; 36.87°, 69.82°), возникли последовательно во времени (19 ноября 2018 г., 5 апреля и 11 октября 2019 г.) три толчка с  $K_p=11.0$ , 9.1 и 9.1, соответственно, образуя заглубленный левый край своеобразной горизонтально ориентированной широтной «щели» очагов Гиндукуша в пределах  $\lambda=68.6°–71.2°E$ . Далее, на восток, все поле глубоких очагов формирует диагональную структуру северо-восточной ориентации до  $\lambda=72.5°E$  с повторным широтно-

ориентированным разворотом при  $\lambda=74.5^\circ\text{E}$  (рис. 3 а, 3 б). Разделим всю область промежуточных землетрясений, как и ранее [1], на три подзоны: Афганскую ( $\varphi \leq 36.9^\circ\text{N}$ ), Хорогскую ( $36.9 < \varphi \leq 37.9^\circ\text{N}$ ) и Мургабскую ( $37.9 < \varphi \leq 38.8^\circ\text{N}$ ) (табл. 3). Такое деление целесообразно, так как они характеризуются разным видом ориентации эпицентрального поля очагов и распределения их по глубине.

**Таблица 3.** Распределение промежуточных ( $h=70\text{--}310$  км) землетрясений по энергетическим классам в пределах Афганской, Хорогской и Мургабской подзон в 2018–2019 гг.

Название зоны	Энергетический класс $K_p$							$K_p \geq 10$	Всего	$\Sigma E, \text{Дж}$
	9	10	11	12	13	14	15			
Афганская	7670	940	119	49	25	3	2	1138	8804	$2.18 \cdot 10^{15}$
Хорогская	4550	416	57	20	4	–	1	498	5049	$9.13 \cdot 10^{14}$
Мургабская	388	58	15	3	5	–	–	81	471	$5.86 \cdot 10^{13}$
Всего	12608	1414	191	72	34	3	3	1717	14324	$3.15 \cdot 10^{15}$

Как видно из табл. 3, большинство промежуточных землетрясений возникло в Афганской подзоне Гиндукуша, где произошло 81 землетрясение с  $K_p \geq 12$  в диапазоне глубин 100–270 км. Максимальный класс землетрясений этой зоны  $K_{\text{расч.}}=14.8$  при  $M_{\text{WGCMT}}=6.2$ . Такой величины событие (29 на рис. 3 б) произошло в конце рассматриваемого промежутка времени (20 декабря 2019 г.) в западных отрогах Северного Гиндукуша на глубине  $h=209$  км. В столице Душанбе, на эпицентральной расстоянии  $\Delta=249$  км (гипоцентральной – 325 км), интенсивность сотрясений равна 4 баллам, в Ташкенте ( $\Delta=517$  км/557 км) – 3 баллам. Землетрясений четырнадцатого класса здесь зарегистрировано по два в каждом году, в очень узкой ( $0.17^\circ$ ) широтной полосе, вытянутой почти на градус, с  $\lambda=69.99\text{--}70.90^\circ\text{E}$ , а именно: в 2018 г. – 31 января в  $07^{\text{h}}07^{\text{m}}$  с  $K_p=14.4$ ,  $h=200(201_{\text{pp}})$  км (2 на рис. 3 а) и 10 мая в  $14^{\text{h}}08^{\text{m}}$  с  $K_p=13.7$ ,  $h=193(200_{\text{pp}})$  км (11 на рис. 3 а); в 2019 г. – 2 февраля в  $12^{\text{h}}04^{\text{m}}$  с  $K_p=14.1$ ,  $h=210(219_{\text{pp}})$  км (18 на рис. 3 б) и 8 августа в  $00^{\text{h}}45^{\text{m}}$  с  $K_p=14.4$ ,  $h=227(226_{\text{pp}})$  км (22 на рис. 3 б) [Прил. 2]. Все четыре землетрясения потрясли всю Республику до Гарма, Рогуна и Душанбе с  $I_i$  от 3–4-х до 2–3-х баллов [Прил. 3]. Отметим, в качестве положительного момента в региональной обработке землетрясений, что значения глубин  $h_i$  этих очагов, приведенных в [Прил. 2], близки к  $h_{\text{pp}}$  из бюллетеня ISC [4].

В диагонально ориентированной Хорогской подзоне, в 70 км к юго-западу от Хорога, 9 мая 2018 г. произошло землетрясение (10 на рис. 3 а) с  $h=105$  км и максимальной за два года магнитудой  $M_{\text{WGCMT}}=6.3$  ( $K_{\text{расч.}}=14.9$ ) (табл. 1). Как упомянуто выше, оно ощущалось с интенсивностью от 5 до 2 баллов на большей части территории Таджикистана (10 пунктов), а также в Пакистане (23 пункта), Индии (17), Афганистане (13), Казахстане (2), Узбекистане (2), Туркменистане (1). Интересным оказалось сопровождение этого толчка последовавшим через сутки, 10 мая в  $14^{\text{h}}08^{\text{m}}$ , более глубоким ( $h=193$  км) афтершоком с  $K_p=13.7$  (11 на рис. 3 а), ощущавшимся так же, как и главный толчок, в Таджикистане, Пакистане, Афганистане, Индии и Узбекистане, с меньшей, конечно, интенсивностью, от 3 до 2 баллов [Прил. 3].

В Мургабской подзоне широтного простираения в 2018 г. возникло одно наиболее сильное землетрясение с  $K_p=13.5$  и четыре заметных с  $K_p=12.7$  [Прил. 2]: с  $K_p=13.5$  – 19 октября в  $13^{\text{h}}25^{\text{m}}$  на глубине  $h=140$  км (15 на рис. 3 а), а остальные, последовательно, 9 января в  $00^{\text{h}}05^{\text{m}}$  с  $h=120$  км, 6 февраля в  $21^{\text{h}}53^{\text{m}}$  с  $h=110$  км, 12 июля в  $19^{\text{h}}46^{\text{m}}$  с  $h=130$  км и 9 октября в  $00^{\text{h}}49^{\text{m}}$  с  $h=142$  км (рис. 3 а). В 2019 г. максимальным было землетрясение 4 февраля в  $06^{\text{h}}12^{\text{m}}$  с  $h=130$  км,  $K_p=12.0$  (рис. 3 б). Три события 2018 г. ощущались в населенных пунктах Таджикистана: 19 октября – в Душанбе с интенсивностью 2–3 балла; 9 января – 2 балла в Ванче, 6 февраля – 3 балла в Душанбе, Ванче и Хороге [Прил. 3].

**Закключение.** Движение Индийской плиты на север и ее столкновение с Евразией продолжается, но вызванный им в исследуемые два года сейсмический процесс в Таджикистане и на прилегающих к нему территориях протекал относительно спокойно. В зоне IV промежуточных землетрясений, где 26.10.2015 г. произошло катастрофическое Гиндукушское землетрясение с  $M_w=7.5$  [10], связанное с отрывом и опусканием Гиндукушской плиты [11, 12], в 2018–2019 гг. сильных землетрясений с  $M_w \geq 7$  не было, несмотря на большое суммарное число толчков (14325), что свидетельствует о некотором заживлении этой очаговой зоны.

Непосредственно внутри государственных границ самыми заметными были 6-балльное Сарихосорское-I землетрясение 29 марта 2018 г.,  $K_p=13.1$  [7] в Душанбино-Гармском районе Таджикистана, вызвавшее мощную серию афтершоков ( $N_\Sigma=521$ ), а также, через год, более слабое

Сарихосорское-II землетрясение 7 марта 2019 г. с  $K_p=12.1$ ,  $I_0=5-6$  баллов с небольшой афтершоковой серией ( $N_s=53$ ). Не исключено, что наблюдаемое увеличение сейсмической активности связано, как считает автор [7], с началом заполнения в 2016–2017 гг. водохранилища Рогунской ГЭС, строящейся в 13–18 км западнее эпицентров Сарихосорских землетрясений.

В подготовке электронных приложений к данной статье принимали участие: Т.Р. Улубиева, Л.И. Рислинг, Р.С. Михайлова, З.М. Нилобекова, З.С. Маматкулова, Г.Н. Холова, С.Ш. Хакимова, Р.У. Джураев, Н.А. Лукаш, С.Г. Пойгина, Г.М. Бахтиярова.

**Электронное приложение** App05b\_Tadjikistan\_2018–2019 (<http://www.gsras.ru/zse/app-26.html>): 1 – Сейсмические станции Геофизической службы НАН Республики Таджикистан в 2018–2019 гг.; 2 – Каталог землетрясений Таджикистана за 2018–2019 гг.; 3 – Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Таджикистана в 2018–2019 гг.; 4 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Таджикистана за 2018–2019 гг.; 5 – Каталог механизмов очагов землетрясений Таджикистана за 2018–2019 гг.; 6 – Афтершоки землетрясения 29 марта 2018 г. с  $K_p=13.1$  ( $N_s=521$ ); 7 – Афтершоки землетрясения 7 марта 2019 г. с  $K_p=12.1$  ( $N_s=53$ ); 8 – Афтершоки землетрясений 17 сентября и 5 декабря 2018 г. с  $K_p=12.0$ .

### Л и т е р а т у р а

1. Улубиева Т.Р., Михайлова Р.С., Рислинг Л.И. Сейсмичность Таджикистана и прилегающих территорий в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – С. 108–117. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2022.25.09>. EDN: SOANCB
2. 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.
3. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности. (Труды ИФЗ АН СССР; № 9 (176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
4. International Seismological Centre. (2023). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
5. Сейсмологический бюллетень (сеть телесеизмических станций), 2018–2019. (2023) // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: [http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic\\_bulletin/2019/](http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2019/)
6. Search Earthquake Catalog. (2023) // USGS [Site]. – URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
7. Джураев Р.У. Сарихосорские землетрясения 29 марта 2018 г. с  $K_p=13.1$ ,  $M_s=5.1$   $I_0=6$  и 7 марта 2019 г. с  $K_p=12.1$ ,  $M_s=4.1$ ,  $I_0=5-6$  (Таджикистан) // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – С. 273–282. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.24> EDN: GRJLGX
8. Улубиева Т.Р. и др. Каталог (оригинал) землетрясений Душанбино-Вахшского района за 2018, 2019 гг. – Душанбе: Фонды ГС НАНТ, 2019.
9. 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. Tectonic summaries of magnitude 7 and greater earthquakes from 2000 to 2015 // US Geological Survey. – 2017. – N 2016–1192. – 148 p.
10. 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: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2021.24.31>
11. 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.
12. Kufner, S.K., Kakar, N., Bezada, M., Bloch, W., Metzger, S., Yuan, X., ... Schurr, B. (2021). The Hindu Kush slab break-off as revealed by deep structure and crustal deformation // Nature communications. – 2021. – V. 12, N 1. – P. 1–11.

### **SEISMICITY of TAJIKISTAN and ADJACENT TERRITORIES in 2018–2019**

**T.R. Ulubieva<sup>1</sup>, R.S. Mikhailova<sup>2</sup>, L.I. Risling<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Geophysical Survey of the National Academy of Sciences of Tajikistan,  
Dushanbe, Tajikistan, [tanya\\_55\\_08@mail.ru](mailto:tanya_55_08@mail.ru)

<sup>2</sup>Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Obninsk, Russia, [rm-gs@mail.ru](mailto:rm-gs@mail.ru)

**Abstract.** In 2018–2019, seismic monitoring of the territory of Tajikistan with adjacent areas of several states was carried out by a network of 7 digital seismic stations of the Geophysical Survey of the National Academy



of Sciences of Tajikistan. For two years, 17195 earthquakes with energy classes  $K_R=8.6-14.9$  were registered. Among them 2870 were small-focus ( $h<70$  km), scattered throughout the Southwestern Tien Shan (zone I), Southern Tien Shan (II), the crustal Pamir-Hindu Kush (III), and 14325 – with intermediate depths  $h=70-310$  km, localized in the Pamir-Hindu Kush zone IV. 112 earthquakes were tangible, two of them, Sarikhosor earthquakes of March 29, 2018 with  $K_R=13.1$ ,  $I_0=6$  and of March 7, 2019 with  $K_R=12.1$ ,  $I_0=5-6$ , were surveyed with the construction of isoseist maps and described in a separate article of this issue of the journal. The strongest ( $M_w>6$ ) earthquakes were grouped in zone IV of Hindu Kush earthquakes with intermediate depths both in 2018 (January 31 with  $K_R=14.8$ ,  $M_w=6.2$ ,  $h=200$  km and May 9 with  $K_R=14.9$ ,  $M_w=6.3$ ,  $h=105$  km) and in 2019 (December 20 with  $K_R=14.8$ ,  $M_w=6.2$ ,  $h=209$  km). All notable earthquakes with foci in the Earth's crust occurred in the Southern Tien Shan zone (II) and associated with a system of near-latitudinal South-Hissar and Ilak-Vakhsh deep faults. Among them the earthquakes occurred in 2018 (March 29 with  $K_R=13.1$ ,  $N_{\Sigma, \text{aft}}=521$ ; September 17 and December 5 with  $K_R=12.0$ ,  $N_{\Sigma, \text{aft}}=59$ ) and in 2019 (March 7,  $K_R=12.1$ ,  $N_{\Sigma, \text{aft}}=53$ ), which were accompanied by large series of aftershocks.

**Keywords:** crustal earthquakes, intermediate earthquakes, Pamir-Hindu Kush, seismic energy, aftershock, intensity of concussions.

**For citation:** Ulubieva, T.R., Mikhailova, R.S., & Riesling, L.I. (2023). [Seismicity of Tajikistan and adjacent territories in 2018–2019]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019), 111–119. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.09> EDN: YBJCIU

## References

1. Ulubieva, T.R., Mikhailova, R.S., & Riesling, L.I. (2022). [Seismicity of Tajikistan and adjacent territories in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017), 108–117. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2022.25.09>. EDN: SOANCB
2. Achilov, G.Sh., Babaev, A.M., Mirzoev, K.M., & Mikhailova, R.S. (1985). [Seismic zones of Pamir]. In *Geologiya and Geofisika of Tajikistan* [Geology and Geophysics of Tajikistan] (pp. 117–138). Dushanbe, Tajikistan: Donish Publ. (In Russ.).
3. 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.).
4. International Seismological Centre. (2023). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
5. GS RAS. (2023). Bulletin of Teleseismic Stations, 2018–2019. Retrieved from [http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic\\_bulletin/2018/](http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2018/)
6. USGS. (2023). Search Earthquake Catalog. Retrieved from <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
7. Juraev, R.U. (2023). [Sarikhosor earthquakes on March 29, 2018 with  $K_R=13.1$ ,  $M_s=5.1$ ,  $I_0=6$  and March 7, 2019 with  $K_R=12.1$ ,  $M_s=4.1$ ,  $I_0=5-6$  (Tajikistan)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019), 273–282. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.24> EDN: GRJLGX
8. Ulubieva, T.R. et al. (2019). *Katalog (original) zemletryasenij Dushanbino-Vahshskogo rajona za 2018, 2019 gg* [Catalog (original) of earthquakes of the Dushanbe-Vakhsh district for 2018, 2019]. Dushanbe, Tajikistan: Funds of the State Enterprise NANT. (In Russ.).
9. 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. *US Geological Survey, 2016–1192*, 148 p.
10. 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: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2021.24.31>
11. 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.
12. Kufner, S.K., Kakar, N., Bezada, M., Bloch, W., Metzger, S., Yuan, X., ... & Schurr, B. (2021). The Hindu Kush slab break-off as revealed by deep structure and crustal deformation. *Nature communications*, 12(1), 1–11.