

**СЕЙСМИЧНОСТЬ ТАДЖИКИСТАНА и ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ в 2016–2017 гг.****Т.Р. Улубиева<sup>1</sup>, Р.С. Михайлова<sup>2</sup>, Л.И. Рислинг<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Геофизическая служба Национальной академии наук Республики Таджикистана, г. Душанбе, [tanya\\_55\\_08@mail.ru](mailto:tanya_55_08@mail.ru)<sup>2</sup>ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, [rm-gs@mail.ru](mailto:rm-gs@mail.ru)

**Аннотация.** В 2016–2017 гг. сейсмический мониторинг территории Таджикистана с прилегающими районами нескольких государств осуществлялся сетью из семи сейсмических станций Геофизической службы НАН Таджикистана. Всего за два года зарегистрировано 17855 землетрясений в диапазоне энергетических классов  $K_p=8.6–15.9$ , из них 4882 – мелкофокусных с  $h<70$  км, разбросанных по всей территории Юго-Западного Тянь-Шаня (зона I), Южного Тянь-Шаня (II), коровых Памиро-Гиндукуша (III), и 12973 – с промежуточными глубинами  $h=70–400$  км, локализованных в Памиро-Гиндукушской зоне IV. Ощутимыми были 140 землетрясений, два из которых, 6–7-балльное Газорчашминское 1 июля 2016 г. с  $K_p=12.5$  и 7-балльное Карамыкское 3 мая 2017 г. с  $K_p=14.2$ , были обследованы с построением карт изосейст и описаны в отдельных статьях данного выпуска журнала. Сводный каталог механизмов очагов землетрясений содержит 110 событий, для которых разными сейсмологическими агентствами найдено 180 решений. Наиболее сильные землетрясения с очагами в земной коре в 2016 г. были сгруппированы на северо-востоке зоны III, на границе с Китаем (события 26 июня с  $K_p=15.3$ ,  $M_w=6.4$  и 25 ноября с  $K_p=15.9$ ,  $M_w=6.6$ ), а в 2017 г. – в зоне II, на границе с Киргизией (3 и 5 мая с  $K_p=14.2$ ,  $M_w=6.0$  и 14.1,  $M_w=5.8$  соответственно). Наиболее сильным землетрясением с промежуточной глубиной  $h=230$  км явилось землетрясение 10 апреля 2016 г. с  $K_p=15.1$  ( $M_w=6.6$ ) у южных границ Таджикистана на территории Пакистана. Оно ощущалось на территории Таджикистана, Казахстана, Афганистана, Пакистана и Индии. Редким инструментальным фактом сейсмического поля Памиро-Гиндукушских землетрясений в 2017 г. явилась регистрация землетрясения 6 мая 2017 г. с  $K_p=12.6$  ( $M_w=5.3$ ) и максимальной глубиной гипоцентра  $h=400$  км по данным региональной сети и 411 км – по обменным *pP*-волнам в решении ISC. Ранее лишь в 1971 г. зафиксирована близкая глубина, равная  $h=405$  км, для землетрясения 14 ноября с  $K_p=9.0$ . По региону в целом наибольшее количество сейсмической энергии в 2016 г. выделилось на территории зоны III ( $\Sigma E=1.02 \cdot 10^{16}$  Дж), а в 2017 г. – зоны II ( $\Sigma E=3.29 \cdot 10^{14}$  Дж).

**Ключевые слова:** коровые землетрясения, промежуточные землетрясения, сейсмическая энергия, афтершок, механизм очага, интенсивность сотрясений.

DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.09 EDN: SOANCB

**Для цитирования:** 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: 10.35540/1818-6254.2022.25.09. EDN: SOANCB

**Введение.** Регистрация землетрясений в 2016–2017 гг. на территории Таджикистана и соседних стран (рис. 1) производилась единой сетью цифровых сейсмических станций Геофизической службы НАН Таджикистана (ГС НАНТ) [Прил. 1]. Создание годовых каталогов сейсмичности [Прил. 2, 3] с включением разрозненных макросейсмических данных и другие сейсмологические исследования осуществлялись в ГС НАНТ. Макросейсмическое обследование двух ощутимых землетрясений – Газорчашминского 1 июля 2016 г. с  $K_p=12.5$ ,  $I_0=6–7$  баллов [1] и Карамыкского 3 мая 2017 г. с  $K_p=14.2$ ,  $I_0=7$  баллов [2] – выполнено другим академическим учреждением – Институтом геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии (ИГССС НАНТ).

**Система наблюдений.** Как и в 2015 г. [3], в 2016–2017 гг. на территории региона была задействована сеть из семи цифровых широкополосных сейсмических станций Trident+Trillium40: «Чуянгарон», «Гарм», «Гезан», «Игрон», «Шаартуз», «Манем» и «Чорух-Дайрон», координаты и параметры которых даны в [Прил. 1]. 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 деления на четыре сейсмоактивные зоны Таджикистана (рис. 1) не изменились, хотя обработка землетрясений частично проводилась, как и ранее [3], вне указанных границ.

**Методика обработки** цифровых записей землетрясений осталась прежней [3]. 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 пунктом сбора данных в г. Душанбе происходит с помощью спутника «Intelsat». Передача информации проводится непрерывно в масштабе реального времени в г. Душанбе. При обработке и анализе сейсмических данных используется следующее программное обеспечение: CoreEarthworm – программа для автоматической обработки землетрясений, включающая в себя программу Nuproinverse, где собраны годографы и геологические характеристики региона; Ocasle – база данных для хранения сейсмической информации и программа для обработки сейсмической информации вручную. Классификация землетрясений проводится традиционно в энергетических классах  $K_p$  по номограмме Т.Г. Раутиан [4] с использованием эпицентральных расстояний  $\Delta$  (км) для землетрясений в земной коре ( $h \leq 69$  км) и гипоцентральных расстояний  $r$  (км) – на глубинах  $h \geq 70$  км [5].

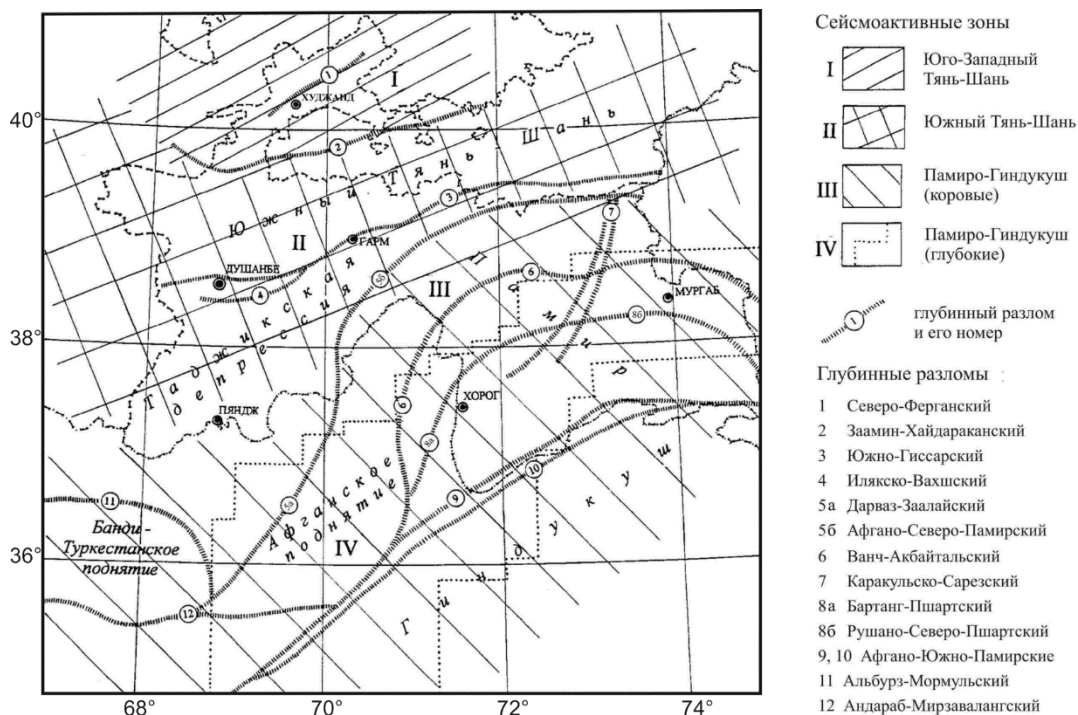


Рис. 1. Сейсмоактивные зоны I–IV и глубинные разломы Таджикистана

Сейсмоактивные зоны: I – Юго-Западный Тянь-Шань; II – Южный Тянь-Шань; III – Памиро-Гиндукуш (коровые); IV – Памиро-Гиндукуш (глубокие); 5 – глубинные разломы по [6]: 1 – Северо-Ферганский; 2 – Заамин-Хайдараканский; 3 – Гиссаро-Кокшаальский (Южно-Гиссарский); 4 – Илякско-Вахшский; 5 а – Дарваз-Заалайский; 5 б – Афгано-Северо-Памирский; 6 – Ванч-Акбайтальский; 7 – Каракульско-Сарезские; 8 а – Бартаг-Пшартский; 8 б – Рушано-Северо-Пшартский; 9, 10 – Афгано-Южно-Памирские; 11 – Альбурз-Мормульский; 12 – Андараб-Мирзавалангский.

**Каталоги землетрясений и карты эпицентров.** Каталоги за 2016 г. и 2017 г. [Прил. 2, 3] составлены в результате сводной обработки землетрясений Таджикистана и прилегающих к нему районов Узбекистана, Кыргызстана и Китая – на севере, Афганистана, Пакистана, Индии – на юге. В них из бюллетеня ISC [7] *red.* включены значения магнитуд по поверхностным ( $M_S$ ,  $M_s$ ), объемным ( $M_{PSP}$ ,  $m_b$ ) волнам и моментная ( $M_w$ ) магнитуда вместе с сейсмическим моментом  $M_0$ . Кроме того, добавлено значительное число макросейсмических данных из сейсмологического бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН [8], каталога USGS [9] и результатов макросейсмических обследований ИГССС НАНТ в [1, 2]. В итоге сведения об ощутимости за два года собраны для 140 землетрясений и расписаны по конкретным населенным пунктам [Прил. 4]. Общее число сотрясенных населенных пунктов составило 161 [Прил. 5]. В каталоге механизмов очагов [Прил. 6] содержатся 110 землетрясений, для которых найдены 180 решений разных агентств (GCMT, NEIC, ISC, IGP и MOS).

Итоговые каталоги землетрясений Таджикистана за 2016 г. и 2017 г. содержат в сумме 17855 землетрясений в диапазоне  $K_p=8.6-15.9$  [Прил. 2, 3], из них 4882 – мелкофокусные толчки с  $h=3-69$  км, разбросанные на всей территории зон I–III, и 12973 – землетрясения с промежуточной глубиной  $h=70-400$  км в зоне IV. Распределение всех землетрясений 2016–2017 гг. по классам  $K_p$  в крупных сейсмоактивных зонах I–IV, в сопоставлении с таковым в 2015 г. из [3], представлено в табл. 1.

Суммарная энергия всех землетрясений, выделившаяся в их очагах в 2016–2017 гг., равна  $\Sigma E=1.46 \cdot 10^{15}$  Дж.

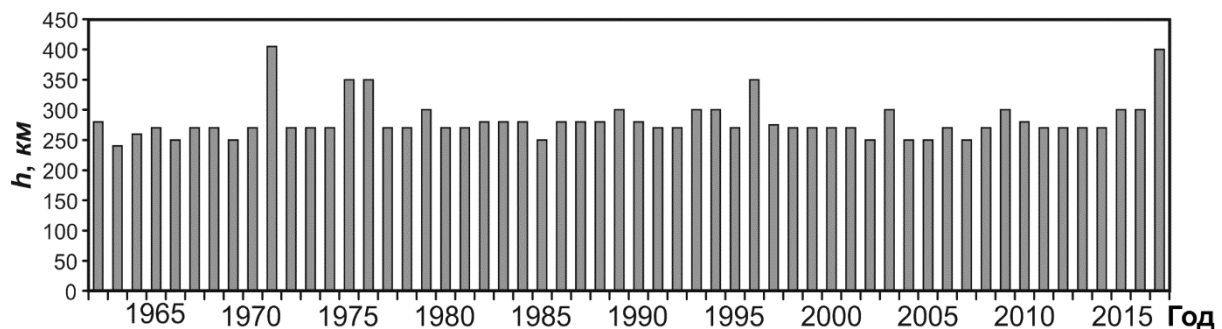
**Таблица 1.** Распределение числа землетрясений по энергетическим классам  $K_p$  и суммарной сейсмической энергии  $\Sigma E$  по зонам I–IV (рис. 1) за 2016–2017 гг.

Зона	Год	$K_p$									$N_{\Sigma}$	$\Sigma E, Дж$
		9	10	11	12	13	14	15	16	17		
I	2016	84	13	4	1	–	–	–	–	–	102	$2.472 \cdot 10^{12}$
	2017	65	9	1	1	–	–	–	–	76	$2.229 \cdot 10^{12}$	
	Сумма	149	22	5	3	–	–	–	–	178	$4.701 \cdot 10^{12}$	
	(2015)	(73)	(8)	(3)	–	–	–	–	–	(85)	$9.184 \cdot 10^{11}$	
II	2016	250	34	16	5	1	–	–	–	306	$1.938 \cdot 10^{13}$	
	2017	406	76	22	14	3	2	–	–	523	$3.288 \cdot 10^{14}$	
	Сумма	656	110	38	19	4	2	–	–	829	$3.482 \cdot 10^{14}$	
	(2015)	(250)	(49)	(13)	(2)	(2)	(1)	–	–	(317)	$2.155 \cdot 10^{14}$	
III	2016	1947	401	132	27	11	–	1	1	–	2520	$1.020 \cdot 10^{16}$
	2017	1132	163	40	14	5	1	–	–	–	1355	$1.151 \cdot 10^{14}$
	Сумма	3079	564	172	41	16	1	1	1	–	3875	$1.032 \cdot 10^{16}$
	(2015)	(1691)	(343)	(178)	(20)	(8)	(1)	–	–	(1)	(2242)	$7.971 \cdot 10^{16}$
IV	2016	4931	690	92	45	17	1	1	–	–	5777	$1.677 \cdot 10^{15}$
	2017	6312	750	83	36	15	–	–	–	–	7196	$2.310 \cdot 10^{14}$
	Сумма	11243	1440	175	81	32	1	1	–	–	12973	$1.908 \cdot 10^{15}$
	(2015)	(5327)	(888)	(99)	(46)	(1)	(1)	(1)	–	(1)	(6427)	$1.016 \cdot 10^{17}$
<b>I–IV</b>		<b>15126</b>	<b>2136</b>	<b>390</b>	<b>144</b>	<b>52</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>		<b>17855</b>	<b><math>1.258 \cdot 10^{16}</math></b>

Примечание. В скобках приведены данные за 2015 г. [3].

Сравнение суммарных и поклассовых чисел землетрясений в 2015, 2016 и 2017 гг. в каждой из четырех зон свидетельствует об отсутствии общего тренда их увеличения или уменьшения. Можно лишь отметить противофазность рядов чисел в 2017 г. в зоне II на повышение, а в соседней зоне III – на понижение.

Минимальная глубина гипоцентра  $h=3$  км присвоена 13 землетрясениям с  $K_p=9-12$ , а максимальная –  $h=400$  км – землетрясению 6 мая 2017 г. с  $K_p=12.6$  ( $M_w=5.3$ ), локализованному с  $\varphi=36.60^\circ$  N,  $\lambda=71.40^\circ$  E в пределах Афганской подзоны зоны IV промежуточных глубин очагов. По обменным волнам его глубина даже больше –  $h_{pP}=411$  км [7]. Специальный просмотр каталогов землетрясений Таджикистана с 1962 г. показал, что такая глубина зарегистрирована лишь во второй раз, первый был в 1971 году. Чаще всего, в 43-х годах,  $h_{max}$  варьирует в слое от 240 до 280 км, в 13-ти годах – на 60–70 км глубже, от 300 до 350 км (рис. 2).



**Рис. 2.** Максимальные глубины очагов землетрясений Памиро-Гиндукуша за период 1962–2017 гг.

Все 17855 землетрясений в диапазоне  $K_p=8.6-15.9$  за 2016 г. и 2017 г. изображены на двух годовых картах (рис. 3 а, б).

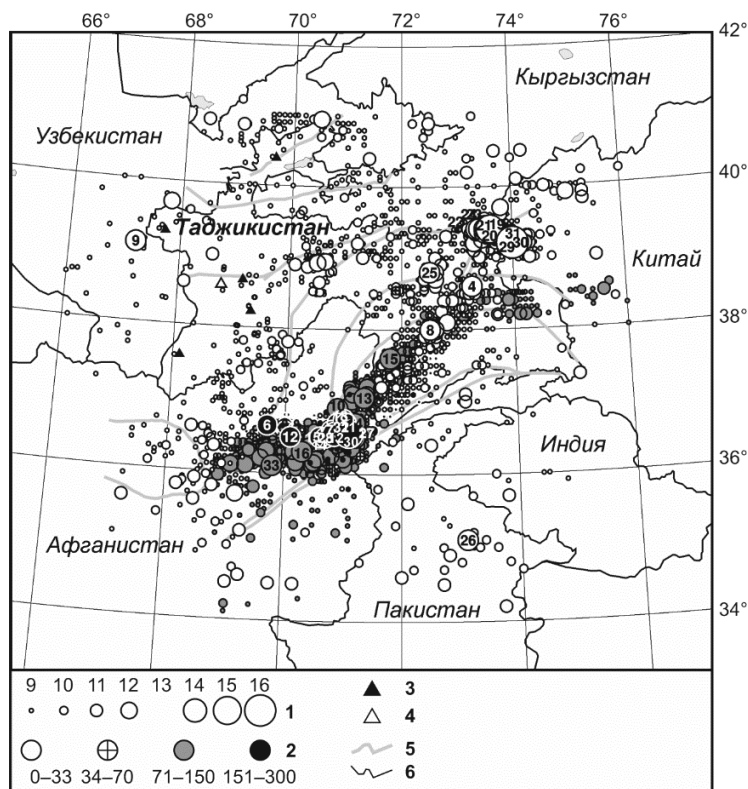


Рис. 3 а. Карта эпицентров землетрясений Таджикистана и прилегающих территорий с  $K_p \geq 8.6$  за 2016 г.

1 – энергетический класс  $K_p$ , пронумерованы землетрясения с  $K_p \geq 12.6$ ; 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 [4]; 6 – государственная граница.

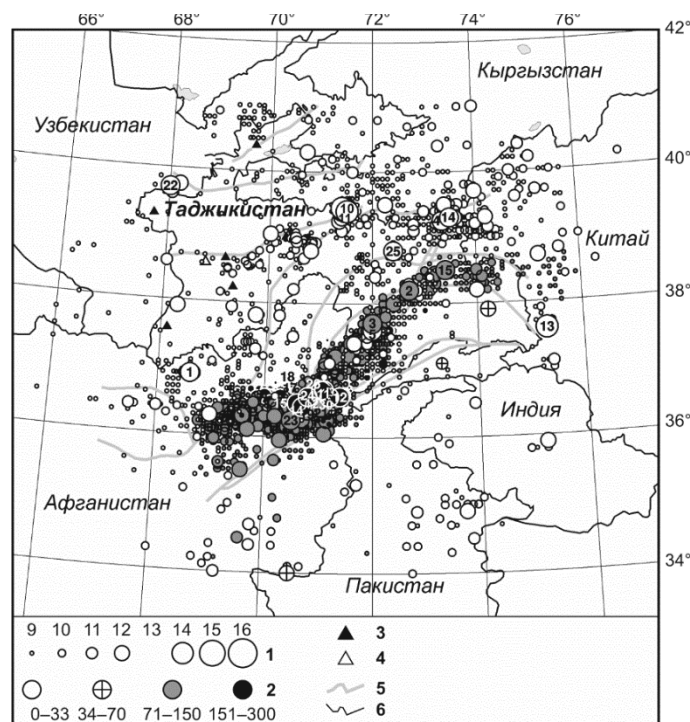


Рис. 3 б. Карта эпицентров землетрясений Таджикистана и прилегающих территорий с  $K_p \geq 8.6$  за 2017 г.

Условные обозначения см. на рис. 3 а.

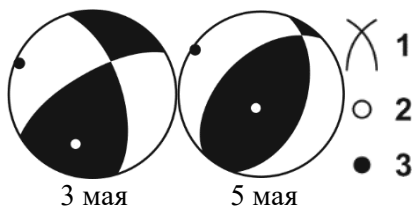
Распределение мелкофокусных ( $h < 70$  км) толчков закономерно: значительное их число приурочено к Дарваз-Заалайскому (№ 5 а на рис. 1) разлому и его продолжению на юг – Афгано-Северо-Памирскому разлому (№ 5 б) в зонах II и III. Максимальным энергетическим классом  $K_p=15.9$  ( $M_w=6.6$ ) характеризуется землетрясение 25 ноября 2016 г. с  $h_m=10$  км,  $h_{rp}=12$  км,  $\varphi=39.20^\circ N$ ,  $\lambda=74.00^\circ E$  в зоне сближения Южного Тянь-Шаня и Западного Кунь-Луна в северной части Сарыкольского хребта. Оно ощущалось с  $I_i=7$  баллов в Мургабе (Таджикистан), 4 балла – в городах Ош (Киргизия), Каши (Китай), Гургаон (Индия); 3 балла – Алматы (Казахстан), Ташкент (Узбекистан), Кота (Индия); 2 балла – в Душанбе, Худжанде (Таджикистан) [Прил. 4].

Максимальный энергетический класс промежуточных землетрясений с  $K_p=15.1$  ( $M_w=6.6$ ) зарегистрирован при событии 10 апреля 2016 г. на территории Северного Гиндукуша на глубине 230 км с  $I_0=6$  баллов. В Таджикистане оно ощущалось до 4 баллов в Душанбе (303 км), до 2 баллов – в Худжанде (434 км) [Прил. 4].

Рассмотрим детально сейсмичность в каждой из зон I–IV.

На территории **зоны I Юго-Западного Тянь-Шаня** в 2016–2017 гг. зарегистрированы 178 землетрясений с  $K_p \geq 8.6$  (табл. 1). Максимум энергии в зоне I зарегистрирован на уровне  $K_p=12$ , и таких событий два. Одно, с  $K_p=12.2$ , произошло 16 апреля 2016 г. на крайнем севере Согдийской области и вызвало слабые сотрясения в 2–3 балла в городах Ош (Киргизия), Шымкент (Казахстан) и Ташкент (Узбекистан). Второе, с  $K_p=12.3$ , отмечено 3 февраля 2017 г. в 21 км к северо-востоку от г. Исфара, где оно ощущалось с  $I_i=3$ –4 балла, и с  $I_i=3$  балла – в г. Канибадаме [Прил. 4].

**В зоне II на территории Южного Тянь-Шаня** суммарное число землетрясений равно  $N_\Sigma=829$  (табл. 1), максимальный класс  $K_p=14$  – у двух майских землетрясений 2017 г.: 3 мая с  $K_p=14.2$  ( $M_w=6.0$ ) и 5 мая с  $K_p=14.1$  ( $M_w=5.8$ ), с расстоянием 10 км между их эпицентрами ( $39.45^\circ N$ ,  $71.40^\circ E$  и  $39.40^\circ N$ ,  $71.50^\circ E$ ). В результате полевого макросейсмического обследования землетрясения 3 мая, названного Карамыкским [2], были получены данные о 7-балльном проявлении в эпицентре, у безымянного горного озера, и меньшей интенсивности, от 6 до 2 баллов, в 38 населенных пунктах Таджикистана, восьми – Кыргызстана, шести – Узбекистана, четырех – Казахстана [Прил. 4], по которым составлена карта изосейст. Естественно, последующий толчок 5 мая усугубил повреждения, что было учтено при определении интенсивности. Эпицентры этих событий приурочены к восточному окончанию Гиссаро-Кокшаальского разлома (№ 3 на рис. 1). За 18 минут до возникновения главного толчка 3 мая был зафиксирован форшок с  $K_p=12.7$ , с  $I_i=4$  балла в Джиргитале (25 км) и 2–3 балла – в Душанбе (243 км). Всего за два дня после толчка 3 мая и до 5 мая в  $05^h09^m$  здесь зафиксировано 47 афтершоков с  $K_p=8.6$ –13.1, а позже, до конца года, еще 134 афтершока с  $K_p=8.6$ –12.2. Параметры механизмов очагов обоих толчков в [Прил. 6] свидетельствуют о сходстве ориентаций нодальных плоскостей (рис. 4), однако с преобладанием сдвиговых компонент подвижки в очаге 3 мая и взбросовых – 5 мая.



**Рис. 4.** Диаграммы механизмов очагов в проекции на нижнюю полусферу землетрясений 3 и 5 мая 2017 г. по данным GСMT

1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений растяжения и сжатия соответственно; зачернена область волн сжатия.

Из землетрясений меньших энергий интересны два равновеликих землетрясения у северо-западных границ Таджикистана – 5 апреля 2016 г. с  $K_p=13.0$  ( $M_w=4.9$ ) и 29 сентября 2017 г. с  $K_p=13.0$  ( $M_w=5.1$ ). Первое ощущалось в Таджикистане (Турсунзаде с  $I_i=3$ –4 балла, Душанбе – 2–3 балла) и в Узбекистане (Самарканд – 3–4 балла, Навои и Карши – 2–3 балла, Термез – 2 балла). Второе вызвало колебания в Худжанде и Душанбе с  $I_i=2$ –3 балла (Таджикистан), в Ташкенте и Бектемире – 3 балла (Узбекистан) [Прил. 4].

На территории Душанбино-Гармского района заслуживают описания два землетрясения в 2016 г. с  $K_p=12$  в северо-восточной части Таджикской депрессии в зоне между Гиссаро-Кокшаальским и Дарваз-Заалайским разломами (24 марта с  $K_p=12.0$ ,  $\varphi=38.94$ ,  $\lambda=70.63$  и 1 июля с  $K_p=12.5$ ,  $\varphi=38.92$ ,  $\lambda=70.49$ ) и одно – в 2017 г. в центральной части Гиссаро-Кокшаальского разлома (21 февраля с  $K_p=12.0$ ,  $\varphi=39.04$ ,  $\lambda=70.02$ ). Общим их свойством явилось большое число афтершоков: 399 в диапазоне  $\Delta K_p=5.2$ –9.8 после события 24 марта 2016 г. [Прил. 7], 348 с  $\Delta K_p=5.2$ –9.5 – после толчка 1 июля 2016 г. [Прил. 8], и 1233 с  $K_p=5.2$ –9.7 после

землетрясения 21 февраля 2017 г. [Прил. 9]. Из вышеперечисленных было обследовано лишь землетрясение 1 июля с  $K_p=12.5$ , названное Газорчашминским. Ему посвящена, как упомянуто выше, отдельная статья [1].

**В Памиро-Гиндукушской зоне (III)** с суммарным числом событий, равным 3875, отметим, прежде всего, затухание афтершокового процесса в очаговой зоне Сарезского-II землетрясения 07.12.2015 г. с  $M_w=7.2$ ,  $h=20$  км [10], возникшего на Памире через 12 дней после Гиндукушского землетрясения 26.10.2015 г. с  $M_w=7.5$ ,  $h=230$  км [11], в 280 км к северо-востоку от него. Вслед за Сарезским-II землетрясением до конца 2015 г. было зарегистрировано свыше 1300 афтершоков. Активность очаговой зоны отмечена и в 2016 г. (296 событий), и в 2017 г. (59 событий). Данные афтершоки индексированы в соответствующих каталогах (Прил. 2, 3).

Однако максимальное возмущение коровой сейсмичности в зоне III наблюдалось на стыке северной оконечности Каракульско-Сарезских разломов (№ 7 на рис. 1) с северо-восточным окончанием Дарваз-Заалайского разлома (№ 5), т.е. в зоне передового фронта надвига Индии на Евразию. Здесь 26 июня 2016 г. внутри государственных границ Таджикистана отмечено землетрясение с  $K_p=15.3$  ( $M_w=6.4$ ,  $\varphi=39.40^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=73.60^\circ\text{E}$ ,  $h=20$  км) в сопровождении более 1000 афтершоков, шесть из которых с  $K_p \geq 13$ . Спустя пять месяцев, 25 ноября 2016 г. в 14<sup>h</sup>19<sup>m</sup>, всего в 40 км от него, но уже на территории Китая, возник главный толчок 14<sup>h</sup>24<sup>m</sup> с  $K_p=15.9$  ( $M_w=6.6$ ,  $\varphi=39.20^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=74.00^\circ\text{E}$ ,  $h=10$  км), предвараемый форшоком с  $K_p=13.4$  ( $M_w=5.2$ ,  $\varphi=39.20^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=73.90^\circ\text{E}$ ,  $h=10$  км). Главный толчок также вызвал серию афтершоков из 354 толчков до конца 2016 г., с продолжением серии из 295 толчков до конца в 2017 году. Весьма любопытна большая разница в дальности 4-балльной ощутимости в южном и северном от эпицентра направлениях: на юг, в сторону Индии, это г. Гургаон с  $\Delta=1226$  км, а на север, в Китае – г. Каши с  $\Delta=174$  км, т.е. в 7 раз короче. Диаграммы механизмов очагов, приведенные на рис. 5, свидетельствуют о существенно разных типах произошедших в этих очагах подвижек [Прил. 6].

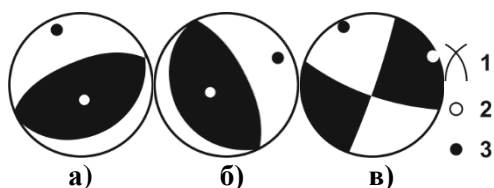


Рис. 5. Диаграммы механизмов очагов в проекции на нижнюю полусферу землетрясений по данным GСMT:

- а) – 26 июня 2016 г.  
с  $K_p=15.3$  ( $M_w=6.4$ ),  $h=20$  км;
- б) – 25 ноября в 14<sup>h</sup>19<sup>m</sup> 2016 г.  
с  $K_p=13.4$  ( $M_w=5.2$ ),  $h=10$  км;
- в) – 25 ноября в 14<sup>h</sup>24<sup>m</sup> 2016 г.  
с  $K_p=15.9$  ( $M_w=5.3$ ),  $h=10$  км

1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений растяжения и сжатия; зачернена область волн сжатия.

1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений растяжения и сжатия; зачернена область волн сжатия.

Южного Памира, где 22 марта 2017 г. в 11<sup>h</sup>27<sup>m</sup> на глубине 10 км возникло землетрясение с  $K_p=13.0$  ( $M_w=5.1$ ) в сопровождении 342 повторных толчков с  $K_p=9-11$ . В Хороге (41 км) оно ощущалось с  $I_i=4$  балла.

**В Памиро-Гиндукушской зоне (IV)** за 2016–2017 гг. зарегистрировано 12973 глубокофокусных землетрясения с  $K_p \geq 8.6$  на глубинах  $h=70-400$  км. Их пространственное распределение представлено на рис. 3 а, б. Основная часть глубокофокусных землетрясений располагалась на территории Афганистана. Традиционно вся область глубокофокусных землетрясений подразделяется по плотности гипоцентров на три подзоны: Афганскую ( $\varphi \leq 36.9^\circ\text{N}$ ), Хорогскую ( $\varphi=37.0-37.9^\circ\text{N}$ ) и Мургабскую ( $\varphi=38.0-38.8^\circ\text{N}$ ), так как они характеризуются разным видом распределения землетрясений по глубине. Приведенные в табл. 2 числа землетрясений в подзонах за 2016 и 2017 гг. в отдельности свидетельствуют о синхронном росте числа событий во всех трех подзонах в 2017 году.

Нужно отметить, что наблюдаемая взаимосвязь сильных глубоких Гиндукушских землетрясений с резким всплеском сейсмичности в северо-восточном окончании Дарваз-Заалайского разлома (№ 5) весьма характерна и наблюдалась ранее. Так, например, 30 июля 1974 г. в Гиндукуше произошло сильное глубокое землетрясение с  $M_w=7.3$ ,  $h=200$  км, а через 12 дней, 11 августа, возникло столь же сильное ( $M_w=7.3$ ) коровое ( $h=18$  км) Маркансуйское землетрясение, координаты которого, равные  $39.40^\circ\text{N}$ ,  $73.90^\circ\text{E}$ , почти совпадают с таковыми для событий 26 июня и 25 ноября. К тому же после него также была очень большая серия афтершоков.

Однако в других частях зоны III, в частности, в пределах Памира, наблюдался спокойный сейсмический процесс. На Северном Памире отмечены два землетрясения с  $K_p=13$  и один ощутимый толчок с  $K_p=11$ . На этом фоне выделяется западная часть Южного Памира, где 22 марта 2017 г. в 11<sup>h</sup>27<sup>m</sup> на глубине 10 км возникло землетрясение с  $K_p=13.0$  ( $M_w=5.1$ ) в сопровождении 342 повторных толчков с  $K_p=9-11$ . В Хороге (41 км) оно ощущалось с  $I_i=4$  балла.

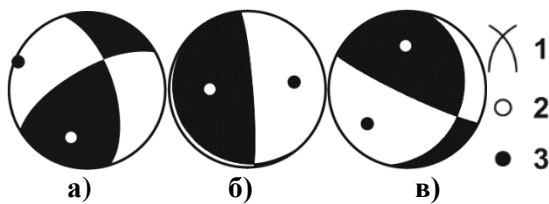
**Таблица 2.** Распределение глубоких землетрясений по энергетическим классам в пределах Афганской, Хорогской и Мургабской подзон в 2016, 2017 гг.

Название зоны	Год	Энергетический класс							Всего
		9	10	11	12	13	14	15	
Афганская	2016	3502	509	61	35	15	1	1	4124
	2017	4289	531	58	26	12	–	–	4916
Хорогская	2016	1353	170	25	10	2	–	–	1560
	2017	1851	198	20	8	1	–	–	2078
Мургабская	2016	76	11	6	–	–	–	–	93
	2017	172	21	5	2	2	–	–	202
Всего	2016	4931	690	92	45	17	1	1	5777
	2017	6312	750	83	36	15	–	–	7196

В Афганской подзоне Гиндукуша возникло 9040 промежуточных землетрясений с  $h=70\text{--}400$  км, в том числе 90 с  $K_p \geq 12$ . Максимальный энергетический класс землетрясений этой зоны –  $K_p=15$ , что на 2 порядка ниже, чем в 2015 году. Землетрясение такой энергии зарегистрировано в районе Северного Гиндукуша 10 апреля 2016 г. с  $K_p=15.1$  ( $M_w=6.6$ ),  $\varphi=36.55^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=71.10^\circ\text{E}$ ,  $h=230$  км,  $I_0=6$  баллов. На территории Таджикистана оно ощущалось до 4 баллов в Душанбе с  $\Delta=303$  км,  $r=380$  км. Общее число сотрясенных пунктов, по собранным в [Прил. 4] сведениям, равно 32. Они образуют на схеме эллипс с осями  $860 \times 530$  км, ориентированными на северо-запад, с площадью  $S \sim 360 \cdot 10^3$  км<sup>2</sup>. Большая часть сотрясенных пунктов (19) расположена в Пакистане, в Афганистане – семь, в Таджикистане – три, в Индии – два и один, самый удаленный ( $\Delta=705$  км,  $r=741$  км), г. Тараз (бывший Джамбул) с  $I_i=2\text{--}3$  балла, – в Казахстане, с большим отскоком к северу от эллипса.

Рассмотрим также землетрясение 12 января 2016 г. в Афганской зоне с энергией на порядок ниже,  $K_p=14.1$  ( $M_w=5.7$ ),  $h=230$  км,  $I_0=5$  баллов. Несмотря на то, что оно имело практически те же координаты, что и событие 10 апреля,  $\varphi=36.55^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=70.85^\circ\text{E}$ , подвижки в этих очагах, согласно [Прил. 6], разные – взбросо-сдвиг по обеим нодальным плоскостям 10 апреля и взрез 12 января (рис. 6 а, б).

В этой же зоне в 2017 г. были зарегистрированы самые глубокие землетрясения Гиндукуша, локализованные почти на одной широте – 21 января с  $K_p=8.6$ ,  $36.70^\circ\text{N}$ ,  $71.60^\circ\text{E}$  и 11 июня с  $K_p=9.2$ ,  $\varphi=36.60^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=70.05^\circ\text{E}$  с  $h=300$  км и вышеупомянутое землетрясение 6 мая с  $K_p=12.6$  ( $M_w=5.3$ ),  $\varphi=36.60^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=71.40^\circ\text{E}$ ,  $h=400$  км. Последнее ощущалось в пос. Ишкашим ( $\Delta=20$  км) практически над гипоцентром с  $I_i=2$  балла [Прил. 4]. Как следует из [Прил. 6], в его очаге реализовался правосторонний сдвиг по пологой близмеридиональной плоскости  $NP1$  ( $STK=15^\circ$ ,  $DP_1=29^\circ$ ) или взброс с элементами левого сдвига по крутой ( $DP_1=84^\circ$ ) плоскости  $NP2$  юго-восточного простирания (рис. 6).



**Рис. 6.** Диаграммы механизмов очагов по данным GCMT в проекции на нижнюю полусферу землетрясений:

- а) 10 апреля 2016 г.  
с  $K_p=15.1$  ( $M_w=6.6$ ),  $h=230$  км;
- б) 12 января 2016 г.  
с  $K_p=14.1$  ( $M_w=5.7$ ),  $h=230$  км;
- в) 6 мая 2017 г. с  $K_p=12.6$  ( $M_w=5.3$ ),  $h=400$  км

1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений растяжения и сжатия соответственно; на диаграммах зачернена область волн сжатия.

В Хорогской подзоне за два года произошло 3638 землетрясений с  $h=70\text{--}270$  км, из них три с  $K_p \geq 13$ : в 2016 г. два равновеликих ( $K_p=12.9$ ) и равноглубоких ( $h=110$  км) землетрясения 4 апреля и 10 июня и одно – в 2017 г., с  $K_p=13.0$ , зарегистрированное 28 февраля с  $h=130$  км. Первое произошло на территории Афганистана в 52 км к юго-западу от Хорога, где ощущалось с  $I_i=3$  балла, также оно ощущалось в Душанбе ( $\Delta=281$  км) – 2 балла. Второе отмечено колебаниями в 3 балла лишь в г. Аботтабаде ( $\Delta=404$  км) Пакистана. Третье землетрясение возникло в 45 км к северо-востоку от Хорога и вызвало более значимые сотрясения, до 4 баллов в пунктах Топи, Аботтабад и Вах Пакистана, а также в большем числе пунктов с меньшей интенсивностью: 3 балла в Пакистане и Индии, 2–3 балла в Таджикистане и 2 балла – в Таджикистане и Индии [Прил. 4].

В Мургабской подзоне всего локализовано 295 событий с  $h=80\text{--}150$  км. В 2016 г. отсутствовали толчки с  $K_p \geq 12$ , а в 2017 г. отмечены два толчка с  $K_p \geq 13$  (15 февраля с  $K_p=12.9$ ,  $h=140$  км и 21 июня с  $K_p=12.6$ ,  $h=120$  км). Эпицентр первого толчка расположен в 10 км восточнее оз. Сарез. Он ощущался в этом пункте с интенсивностью 3 балла. Очаг второго толчка находился в 61 км к северо-западу от Мургаба, где вызвал сотрясения в 3 балла, в Хороге ( $\Delta=197$  км) – 2–3 балла.

**Заключение.** Сейсмичность на территории Таджикистана обусловлена континентальным столкновением Евразийской и Индийской плит в результате субдукции Индийской плиты под Евразийскую. Сейсмические процессы конкретно в 2016–2017 гг. в значительной мере связаны с сильнейшим Гиндукушским землетрясением с  $M_w=7.5$  [11], случившемся накануне, 26 октября 2015 г., которое в [12] связывают с отрывом литосферной плиты в зоне промежуточных землетрясений Гиндукуша. Согласно [12], глубокая часть плиты отделяется от более мелкой части. Такое разделение могло возникнуть, поскольку плавучий материал земной коры сопротивляется субдукции. Последствие возмущения среды после Гиндукушского землетрясения распространилось, в основном, в северо-восточном направлении и проявилось в 2015 г. Сарезским-II землетрясением 07.12.2015 г. с  $M_w=7.2$  на Памире [10], а в 2016–2017 гг. – серией коровых землетрясений на стыке северной оконечности Каракульско-Сарезских разломов с северо-восточным окончанием Дарваз-Заалайского разлома в зоне передового фронта надвига Индии на Евразию в Южном Тянь-Шане. В 2016 г. это группа из трех толчков (26 июня с  $M_w=6.4$ , 25 ноября форшок с  $M_w=5.2$  и главный толчок с  $M_w=6.6$  на границе с Китаем), в 2017 г. – группа из двух Карамыкских толчков (3 мая с  $M_w=6.0$  и 5 мая с  $M_w=5.8$  на границе с Киргизией). При этом все перечисленные события сопровождались многочисленными афтершоками с  $K_p \geq 8.6$ . Даже землетрясения меньшей величины в Душанбино-Гармском районе – 24 марта 2016 г. с  $K_p=12.0$ , 1 июля 2016 г. с  $K_p=12.5$  и 21 февраля 2017 г. с  $K_p=12.0$  – также сопровождались многочисленными афтершоками, число которых для событий с  $K_p \geq 5.2$  составило 399, 348 и 1233 соответственно.

На этом фоне сама зона промежуточных очагов проявилась лишь в 2016 г. двумя событиями на глубине  $h=230$  км (12 января с  $K_p=14.1$ ,  $M_w=5.7$  и 10 апреля с  $K_p=15.1$ ,  $M_w=6.6$ ) с энергией на порядок ниже таковой в 2015 году. Не исключено, что зарегистрированные за два года землетрясения со значительными глубинами ( $h=300, 300$  и  $400$  км) вызваны также событием 26 октября 2015 г. с  $M_w=7.5$ .

Два землетрясения, Газорчашминское 1 июля 2016 г. и Карамыкское 3 мая 2017 г., были обследованы, а результаты приведены в отдельных статьях настоящего издания.

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

**Электронное приложение** App05b\_Tajikistan\_2016–2017 (<http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>): 1 – Сейсмические станции Геофизической службы НАН Таджикистана в 2016–2017 гг.; 2 – Каталог землетрясений Таджикистана за 2016 г.; 3 – Каталог землетрясений Таджикистана за 2017 г.; 4 – Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Таджикистана в 2016–2017 гг.; 5 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Таджикистана за 2016–2017 гг.; 6 – Каталог механизмов очагов землетрясений Таджикистана за 2016–2017 гг.; 7 – Афтершоки землетрясения 24 марта 2016 г. с  $K_p=12.0$ ; 8 – Афтершоки землетрясения 1 июля 2016 г. с  $K_p=12.5$ ; 9 – Афтершоки землетрясения 21 февраля 2017 г. с  $K_p=12.0$ .

## Л и т е р а т у р а

1. Джураев Р.У. Газорчашминское землетрясение 1 июля 2016 г. с  $K_p=12.5$ ,  $M_w=5.0$ ,  $I_0=6\text{--}7$  (Таджикистан) // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – С. 277–284. DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.25. EDN: GOMUП
2. Джураев Р.У. Карамыкское землетрясение 3 мая 2017 г. с  $M_w=6.0$ ,  $I_0=7$  (Таджикистан) // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – С. 338–347. DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.31. EDN: MJVFEN
3. Улубиева Т.Р., Михайлова Р.С., Рислинг Л.И., Джураев 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



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. 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.
7. International Seismological Centre. (2022). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
8. Сейсмологический бюллетень (сеть телесеизмических станций), 2016–2017. (2022) // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: [ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic\\_bulletin/2016-2017](ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2016-2017)
9. Search Earthquake Catalog. (2022) // USGS [Site]. – URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
10. Негматуллаев С.Х., Джураев Р.У., Улубиева Т.Р. Сарезское землетрясение 7 декабря 2015 г. // Вестник НЯЦ РК. – 2018. – № 2. – С. 171–176.
11. Михайлова Р.С., Улубиева Т.Р., Петрова Н.В. Гиндукушское землетрясение 26 октября 2015 г. с  $M_w=7.5$ ,  $I_0=7$ : предвещающая сейсмичность и афтершоковая последовательность // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – С. 324–339. doi: 1035540/1818-6254.2021.24.31
12. 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. – Т. 461. – С. 127–140.

**SEISMICITY of TAJIKISTAN and ADJACENT TERRITORIES in 2016–2017**  
**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 the Republic of Tajikistan,  
Dushanbe, Tajikistan, tanya\_55\_08@mail.ru*

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

**Abstract.** In 2016–2017, seismic monitoring of the territory of Tajikistan and adjacent areas was carried out by a network of 7 seismic stations of the Geophysical Survey of the National Academy of Sciences of Tajikistan. In total for 2 years, 17855 earthquakes were registered in the range of  $K_R=8.6–15.9$ , of which 4882 were small-focus shocks with  $h<70$  km scattered throughout the territory of Southwestern Tien Shan (zone I), Southern Tien Shan (II), Pamir-Hindukush zone of crustal earthquakes (III), and 12973 – with intermediate depths  $h=70–400$  km, located in the Pamir-Hindukush zone IV. 140 earthquakes were felt, for two of them (Gazorchashma earthquake of July 1, 2016 with  $K_R=12.5$ ,  $I_0=6–7$  and Karamyk earthquake of May 3, 2017 with  $K_R=14.2$ ,  $I_0=7$ ) the isoseismal maps were constructed and described in separate articles. The strongest earthquakes with a foci in the Earth's crust were grouped in 2016 in the northeast of zone III, on the border with China (June 26,  $K_R=15.3$ ,  $M_w=6.4$  and November 25,  $K_R=15.9$ ,  $M_w=6.6$ ) and in 2017 – in zone II, on the border with Kyrgyzstan (May 3 and 5 with  $K_R=14.2$ ,  $M_w=6.0$  and 14.1,  $M_w=5.8$  respectively). The strongest earthquake with an intermediate depth of  $h=230$  km occurred on April 10, 2016 with  $K_R=15.1$ ,  $M_w=6.6$  near the southern border of Tajikistan, on the territory of Pakistan. It was felt on the territory of Tajikistan, Kazakhstan, Afghanistan, Pakistan and India. A rare instrumental fact of the seismic field of the Pamir-Hindu Kush earthquakes in 2017 was the registration of the May 6, 2017 earthquake with  $K_R=12.6$  ( $M_w=5.3$ ) with maximum depth of 400 km according to the regional network and 411 km according to the exchange  $pP$ -waves in ISC decision. Earlier, only in 1971 a close depth of 405 km was recorded for the November 14 earthquake with  $K_R=9.0$ . For the region as a whole, in 2016 the maximum seismic energy ( $\Sigma E=1.02 \cdot 10^{16}$  J) was released in zone III, in 2017 – in zone II ( $\Sigma E=3.29 \cdot 10^{14}$  J).

**Keywords:** crustal earthquakes, intermediate earthquakes, seismic energy, aftershock, focal mechanism, shaking intensity.

**DOI:** 10.35540/1818-6254.2022.25.09 **EDN:** SOANCB

**For citation:** Ulubieva, T.R., Mikhailova, R.S., & Risling, 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: 10.35540/1818-6254.2022.25.09. EDN: SOANCB

## References

1. Juraev, R.U. (2022). [Gazorchashma earthquake on July 1, 2016 with  $K_R=12.5$ ,  $M_w=5.0$ ,  $I_0=6–7$  (Tajikistan)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017), 277–284. (In Russ.). DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.25. EDN: GOMUII

2. Juraev, R.U. (2022). [Karamyk earthquake of May 3, 2017 with  $K_R=14.2$ ,  $M_S=6.0$ ,  $I_0=7$  (Tajikistan)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017), 338–347. (In Russ.). DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.31. EDN: MJVFEH
3. 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
4. Rautian, T.G. (1964). [On determining the energy of earthquakes at a distance of 3000 km]. In *Ekspierimental'naia seismika. Trudy IFZ AN SSSR № 32(199)* [Experimental seismic] (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 energeticheskaia klassifikaziya zemletriaseniy. T. II* [Magnitude and earthquake energy classification. V. II] (pp. 139–143). Moscow, Russia: IFZ AN SSSR Publ. (In Russ.).
6. 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.).
7. International Seismological Centre. (2022). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
8. GS RAS. (2022). Bulletin of Teleseismic Stations, 2016–2017. Retrieved from [ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic\\_bulletin/2016-2017](ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2016-2017)
9. USGS. (2022). Search Earthquake Catalog. Retrieved from <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
10. Negmatullaev, S.H., Juraev, R.U., & Ulubieva, T.R. (2018). [Sarezskoye earthquake of December 7, 2015]. *Vestnik NIA Ts RK* [Bulletin of NNC RK], 2, 171–176. (In Russ.).
11. Mikhailova, R.S., Ulubieva, T.R., & Petrova, N.V. (2021). [The Hindu Kush earthquake on October 26, 2015 with  $M_w=7.5$ ,  $I_0\sim 7$ : Preliminary 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
12. 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.