

**ВАХДАТСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 10 ноября 2013 г.****с  $K_p=12.4$ ,  $MS=4.7$ ,  $I_0=6$  (Таджикистан)****Р.У. Джураев**Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии  
АН Республики Таджикистан, г. Душанбе, Республика Таджикистан, [dhuraev52@mail.ru](mailto:dhuraev52@mail.ru)

**Аннотация.** 10 ноября 2013 г. сильное землетрясение произошло в северной части Кафирнигано-Вахшского антиклинорного поднятия, в зоне Илякско-Вахшского разлома. Плейстосейстовая 6-балльная область данного землетрясения площадью около  $30 \text{ км}^2$  расположена в пределах Сангпарского антиклинального поднятия. Сведения о последствиях землетрясения собраны в 76 населенных пунктах Таджикистана, в том числе его столице, г. Душанбе, с  $I_i=4$  балла. Наиболее сильно пострадали три населенных пункта, расположенные на склоне и у подножия горы Сангпар, где почти 70 % жилых домов пришли в негодность. Построена карта изосейст с изолиниями  $I=6$ , 5 и 4 балла, с вытянутостью на северо-восток. Площадь 5-балльной зоны составляла  $400 \text{ км}^2$ , 4-балльной –  $3500 \text{ км}^2$ . Землетрясение реализовалось в условиях близгоризонтального сжатия запад-северо-западного направления и близширотного направления. Тип подвижки в очаге – взброс с небольшим сдвигом по обеим возможным плоскостям разрыва. Оно предварялось 15 форшоками и имело около 400 афтершоков. Следует отметить, что данный район в сейсмическом отношении является довольно активным, но землетрясений интенсивностью более 7 баллов не происходило.

**Ключевые слова:** Таджикистан, Илякско-Вахшский разлом, карта изосейст, нодальная плоскость, взброс со сдвигом, форшоки, афтершоки.

**DOI:** 10.35540/1818-6254.2019.22.40

**Для цитирования:** Джураев Р.У. Вахдатское землетрясение 10 ноября 2013 г. с  $K_p=12.4$ ,  $MS=4.7$ ,  $I_0=6$  (Таджикистан) // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 453–465. doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.40

На территории Таджикистана 10 ноября 2013 г. в  $05^{\text{h}}15^{\text{m}}$  в  $24 \text{ км}$  юго-восточнее столицы Республики г. Душанбе произошло землетрясение с  $K_p=12.4$  [1],  $MS=4.7$  [2], с интенсивностью  $I_0=6$  баллов по шкале MSK-64 [3].

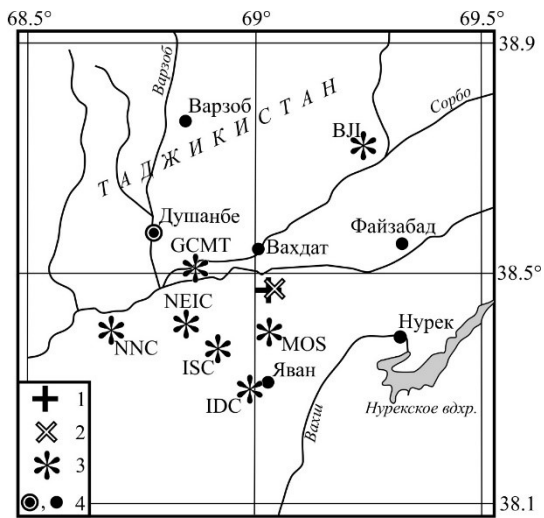
**По инструментальным данным** эпицентр землетрясения с координатами  $\varphi=38.47^\circ\text{N}$  и  $69.03^\circ\text{E}$  расположен в  $8.5 \text{ км}$  южнее г. Вахдата, на левом борту долины р. Иляк (смотри ниже рис. 10). Очаг определен на глубине  $h=10 \text{ км}$  [1]. Эти данные помещены в табл. 1 вместе с решениями других агентств.

**Таблица 1.** Основные параметры Вахдатского землетрясения 10 ноября 2013 г. с  $K_p=12.4$  по данным Таджикистана в сопоставлении с определениями других агентств

Агентство	$t_0$ , ч мин с	$\delta t_0$ , с	Гипоцентр						Магнитуда	Ис-точ-ник
			$\varphi^\circ, \text{N}$	$\delta\varphi$ , км	$\lambda^\circ, \text{E}$	$\delta\lambda$ , км	$h$ , км	$\Delta$ , км		
<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
ГС АН РТ	05 15 07	1.8	38.47 <sub>и</sub>	0.06	69.03 <sub>и</sub>	0.06	10		$K_p=12.4$ , $E=2.51 \cdot 10^{12}$ Дж, $M_{\text{расч}}=4.7$	[1]
– " –			38.47 <sub>м</sub>		69.05 <sub>м</sub>			2		
ССД ГС РАН	05 15 12		38.52		69.02			6	$m_b=5.4$	[4]
NNC	05 15 08	3.11	38.40	22.4	68.68	13.9	8	31	$K_p=12.9$ , $m_b=5.7$ , $m_{pv}=5.4$	[5]
MOS	05 15 11.1	0.99	38.404	4.1	69.027	3.5	40	8	$MS=4.7/24$ , $MPSP=5.3/69$	[2]
ISC	05 15 10.5	0.42	38.367	4.3	68.919	3.9	22.9 23 <sub>pp</sub>	15	$M_s=(4.5 \pm 0.2)/74$ , $m_b=(5.1 \pm 0.2)/244$	[5]
NEIC	05 15 10.9	1.91	38.410	9.7	68.850	9.7	23	17	$m_b=5.2/186$	[5]
ВЛ	05 15 09.6	1.24	38.72		69.24		10	33	$M_s=5.0/54$ , $m_b=5.0/64$	[5]
IDC	05 15 06.8	0.36	38.302	8.5	68.991	6.7	0f	19	$M_s=4.3/47$ , $m_b=4.9/57$	[5]
GCMТ	05 15 10.0	0.20	38.510		68.870		16.4	14	$M_w=4.9/90$	[5]

Примечание: в графе 10 в знаменателе дроби приведено количество станций.

Почти все решения эпицентра Вахдатского землетрясения изображены в плане на рис. 1.



**Рис. 1.** Локализация эпицентра Вахдатского землетрясения 2013 г. по решениям разных центров

1, 2 – региональные эпицентры по инструментальным и макросейсмическим данным; 3 – решения других агентств; 4 – столица и другие города Таджикистана.

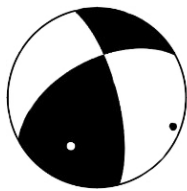
Как видим, решения MOS и IDC смещены к югу (на 8 и 19 км), решения NNC, NEIS, ISC смещены в среднем к юго-западу (на 17 км), GСMT – на запад (в 14 км), а наиболее удаленное (33 км) китайское решение ВЛ – на северо-восток. Отбросив крайние отскоки, получаем средний разброс  $\delta=13$  км.

**Механизм очага** Вахдатского землетрясения заимствован из глобального каталога агентства СМТ [6] и представлен в табл. 2 и на рис. 2.

**Таблица 2.** Параметры механизма очага Вахдатского землетрясения 10 ноября 2013 г. в  $05^h15^m$  с  $K_p=12.4$

Агентство	$t_0$ , ч мин с [6]	$h$ , км [6]	Магнитуды			$K_p$ [1]	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Источник [6]
			$M_w$ [5]	$M_S$ [2]	$M_s$ [5]		$T$		$N$		$P$		$NP1$			$NP2$			
							$PL$	$AZM$	$PL$	$AZM$	$PL$	$AZM$	$STK$	$DP$	$SLIP$	$STK$	$DP$	$SLIP$	
GСMT	05 15 10.0	16.4	4.9	4.7	4.5	12.4	26	198	63	33	6	291	242	76	157	337	67	15	[6]

Из табл. 2 и рис. 2 следует, что тип сейсмодислокации в очаге – взброс с небольшой сдвиговой компонентой. Землетрясение реализовалось в условиях субгоризонтального ( $PL_p=6^\circ$ ) сжатия запад–северо-западного направления, при этом более крутая ( $DP=76^\circ$ ) нодальная плоскость  $NP1$  имеет восток–северо-восточное простирание ( $STK=242^\circ$ ), другая – примерно северо-западное ( $STK=337^\circ$ ).



**Рис. 2.** Диаграмма механизма очага (нижняя полусфера) Вахдатского землетрясения 10 ноября 2013 г. с  $K_p=12.4$ ,  $M_S=4.7$

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

**Форшоки.** За 10 дней до главного толчка было зарегистрировано 15 форшоков с  $K_p=6.2-8.0$ , приведенных в табл. 3 из [7].

**Таблица 3.** Основные параметры форшоков Вахдатского землетрясения с  $K_p=12.4$ ,  $M_S=4.7$

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E	$h$ , км	$K_p$
1	01.11	21 39 04	38.48	69.03	10	6.3
2	05.11	17 54 28	38.47	69.02	10	6.2
3	06.11	00 09 11	38.51	68.99	10	6.0
4	06.11	00 22 30	38.48	69.04	10	6.5
5	06.11	00 26 57	38.56	69.02	10	6.3
6	07.11	21 47 30	38.52	69.02	10	6.5
7	09.11	16 28 17	38.51	68.99	10	8.0
8	09.11	16 32 59	38.49	69.01	10	6.6
9	09.11	17 33 10	38.51	69.01	10	8.0
10	09.11	17 45 33	38.51	69.08	10	7.6
11	09.11	18 10 31	38.51	69.01	10	6.1
12	09.11	21 20 28	38.49	69.01	10	6.6
13	10.11	00 04 21	38.46	69.04	10	6.7
14	10.11	00 16 23	38.48	69.01	10	6.8
15	10.11	02 22 13	38.47	69.03	10	6.4

В плане все они локализованы вблизи эпицентра главного толчка (рис. 3) с максимальным удалением в 10 км. Во времени – детальный анализ показал, что три форшока на уровне  $K_p \div 8.0$  сгруппировались 9 ноября в интервале с 16<sup>h</sup>28<sup>m</sup> до 17<sup>h</sup>45<sup>m</sup> (табл. 3), после чего последующие форшоки реализовались в течение 5-часового промежутка времени, вплоть до последнего из них, произошедшего 10 ноября в 02<sup>h</sup>22<sup>m</sup> точно в эпицентре главного толчка. Слабые (2–3 балла) сотрясения ощущались в эпицентральной зоне от форшока, произошедшего 9 ноября в 17<sup>h</sup>33<sup>m</sup> с  $K_p=8.0$  и координатами  $\varphi=38.51^\circ N$ ,  $\lambda=69.01^\circ E$  в 5 км от главного толчка [8].

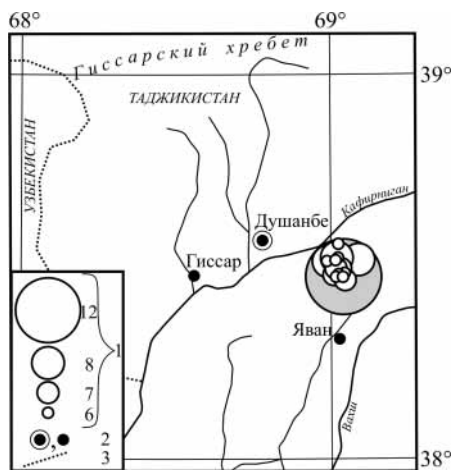


Рис. 3. Карта эпицентров форшоков Вахдатского землетрясения 10.11.2013 г. с  $K_p=12.4$ ,  $MS=4.7$

Восемь форшоков из 15 имели  $K_p \div 6$ , четыре –  $K_p \div 7$ , три форшока –  $K_p \div 8$  (табл. 3). Энергетическая ступень с главным толчком равна:

$$\Delta K_\phi = K_0 - K_\phi = 12.4 - 8.0 = 4.4. \quad (1)$$

Здесь  $K_0$  и  $K_\phi$  равны энергетическому классу главного толчка и максимального афтершока соответственно. Величина ступени достаточно высока.

**Афтершоки.** После основного толчка 10 ноября в 05<sup>h</sup>15<sup>m</sup> до конца 2013 г. зарегистрирован 391 афтершок с  $K_p=5.6-11.0$  [7], некоторые из которых ощущались на поверхности с интенсивностью  $I_i$  от 2–3 до 4 баллов, а именно: 10 ноября в 12<sup>h</sup>03<sup>m</sup> с  $K_p=7.9$ ,  $I_i=2-3$  балла; 11 ноября в 02<sup>h</sup>21<sup>m</sup> с  $K_p=11.0$ ,  $I_i=4$  балла; 28 ноября в 23<sup>h</sup>50<sup>m</sup>

с  $K_p=9.1$ ,  $I_i=3$  балла. Карта эпицентров афтершоков изображена на рис. 4 в двух вариантах, а и б: слева – усеченная выборка более сильных ( $K_p \geq 7.0$ ) афтершоков, справа – все форшоки и афтершоки, но без указания их числа в каждой точке, т.е. только пространственный ареал.

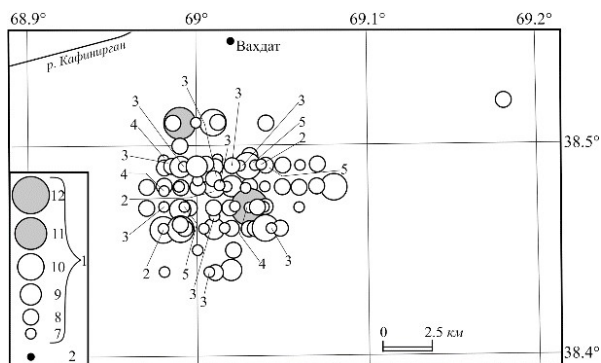


Рис. 4, а. Карта эпицентров более сильных ( $K_p \geq 7.0$ ) афтершоков Вахдатского землетрясения с  $K_p=12.4$ ,  $MS=4.7$

1 – энергетический класс (в фоне главный толчок и максимальный афтершок); 2 – г. Вахдат.

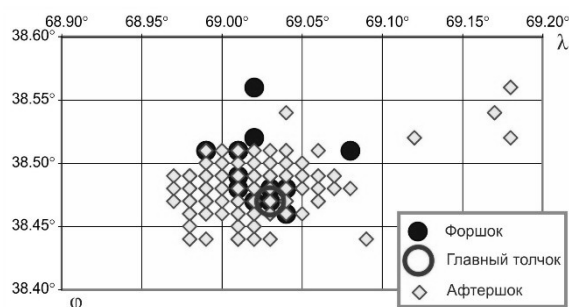


Рис. 4, б. Карта эпицентров всех форшоков и афтершоков Вахдатского землетрясения по их локациям, но без указания числа повторяющихся в одной точке событий

Как видим, поле более сильных афтершоков размером 19×13 км практически изометрично, лишь с небольшой вытянутостью по широте, но поле локаций слева определенно вытянуто в северо-восточном направлении, приблизительно с азимутом  $AZM=44^\circ$ . Максимальный афтершок с  $K_p=11.0$  локализован в 5.5 км к северо-западу от главного толчка и вне основной массы более слабых афтершоков. Величина энергетической ступени  $\Delta K_a$ , равная

$$\Delta K_a = 12.4 - 11.0 = 1.4, \quad (2)$$

незначительна. Такая величина ступени характеризует, как правило, роевые совокупности, что, в общем, очевидно из большого числа афтершоков при невысокой энергии главного толчка.

**График затухания афтершоков.** Интересно по своей сложности затухание афтершоков во времени (по пятидневкам – табл. 4).

**Таблица 4.** Распределение афтершоков по пятидневкам

№	Даты	$N_{\text{афт}}$	$\lg N$
1	10.11–14.11	218	2.338
2	15.11–19.11	27	1.431
3	20.11–24.11	38	1.580
4	25.11–29.11	70	1.845
5	30.11–04.12	32	1.505
6	05.12–09.12	23	1.361

В начальной стадии, в первые десять дней, зафиксировано очень резкое затухание, с 218 до 27 афтершоков (табл. 4), т.е. более чем в 8 раз. Тогда наклон прямой спада на этом участке (рис. 5) равен  $\alpha = |0.91|$ . Это значение коэффициента  $\alpha$  спада афтершоков со временем находится в пределах экспериментальных определений закона Омори для крупных землетрясений Мира [9] и незначительно отличается от преобладающего среднего значения  $\alpha = 1.0$  для большинства афтершоковых последовательностей [10].

На участке с 29 ноября и до конца года, наблюдается очень медленное затухание (рис. 4), с  $\alpha = |0.27|$ , т.е. закон Омори для исследуемой серии афтершоков применим только для начальной стадии.

Нестандартным на графике остается промежуток между времени 19 и 29 ноября с возрастающим во времени числом афтершоков – 27, 38, 70, который не очень вписывается в процесс релаксации напряжений в очаговой зоне, но после него устанавливается режим с  $\alpha = |0.27|$ .

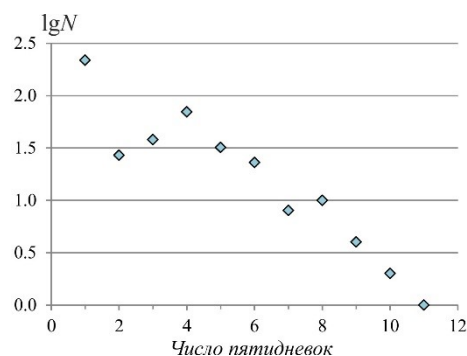
**График повторяемости афтершоков.** Распределение чисел афтершоков Вахдатского землетрясения по классам дано в табл. 5, график их повторяемости – на рис. 6.

**Таблица 5.** Распределение афтершоков по классам

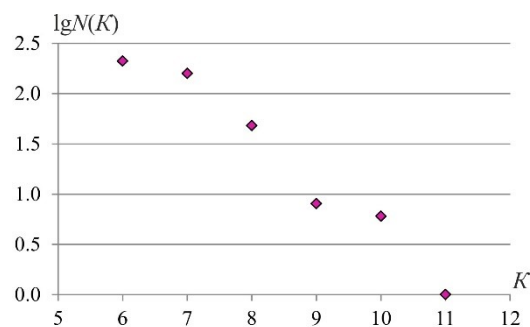
$K$	$N(K)$	$\lg N(K)$
6	210	2.322
7	158	2.199
8	48	1.681

Уравнение графика повторяемости имеет вид:  $\lg N = (5.91 \pm 0.49) - (0.534 \pm 0.054) \cdot K_p$  при коэффициенте корреляции  $r = -0.98$ . Наклон графика, равный  $|\gamma|_{\text{афт}} = \sim 0.53 \pm 0.05$ , превышает средний региональный уровень, равный  $|\gamma| = \sim 0.48$ , что наблюдается, в общем, довольно часто. Наиболее показательным в этом аспекте явилось, например, Нурекское (Махарозинское) землетрясение 22.09.1956 г. с  $K_p = 14$ ,  $M = 5.3$  [11–13].

**Макросейсмические данные.** Сведения о последствиях землетрясения были собраны автором на территории Вахдатского, Рудакинского, Файзабадского, Нурекского и Яванского районов Таджикистана в 76 населенных пунктах, представленных ниже в табл. 6.



**Рис. 5.** График затухания афтершоков с 10 ноября по 30 декабря



**Рис. 6.** График повторяемости афтершоков с  $K_p = 12.4$ ,  $MS = 4.7$

**$I_1=6$  баллов.** Наиболее сильно в результате землетрясения пострадали три населенных пункта – Истиклолият, Исроилобод и Арбобдара, где интенсивность землетрясения достигала 6 баллов.

Эти селения расположены на склоне и у подножия горы Сангпар, на холмистой поверхности с наклоном от  $5-7^\circ$  до  $15-20^\circ$ . Поверхность сложена лессовидными суглинками большой (более 20 м) мощности.

Жилые дома, хозяйственные постройки и общественные здания в этих селениях в основном глинобитные, часто без фундамента и построены без учета сейсмических воздействий. Большинство из них построены в 1960–1970 гг. Прочностные характеристики материала стен низкие ввиду применения некачественного исходного глиноматериала и некачественного его приготовления. В частности, для строительства домов используются местные суглинки, по своему составу приближающиеся к супесям, имеющие низкие показатели по прочности и сцеплению. Известно, что при возведении стен домов из глины, при ее высыхании образуются трещины, создавая при этом отдельные, не связанные друг с другом, блоки, которые затем замазываются толстым слоем штукатурки. Естественно, иногда даже землетрясения не очень большой интенсивности (4.5–5 баллов) могут вызвать небольшие трещины в штукатурке и раскрытие старых трещин, усыхания могут создать довольно сильные впечатления о повреждениях. Фундаменты домов в большинстве случаев выполнены из бутового камня на глиняном растворе. Отсутствует надежная связь между фундаментом и стенами. Глубина заложения фундаментов составляет 20–25 см, что снижает связь дома с основанием. Вокруг жилых домов отсутствуют водоотводящие мероприятия, в том числе отмостка вокруг здания, что приводит к замачиванию стен. Все эти конструктивные особенности были учтены автором при определении интенсивности землетрясения в обследованных населенных пунктах.

В результате землетрясения во многих жилых глинобитных домах селений Истиклолият, Исроилобод и Арбобдара образовались сквозные трещины разного направления (вертикальные, косые, горизонтальные) в стенах шириной раскрытия от 0.3 до 2.0 см с обрушением больших кусков штукатурки. Значительно расширились и увеличались старые трещины. Почти 70 % жилых домов этих селений пришли в негодность для жилья. Сильно повреждены или частично разрушены глинобитные хозяйственные постройки (глинобитные заборы).

Южнее кишлака Истиклолият, в верхней части склона холма, выше стенки срыва древнего сошедшего оползня образовались трещины шириной раскрытия 0.5–2.0 см, протяженностью до 100 м. Простираение трещин с юго-запада на северо-восток. Прерывистые трещины шириной раскрытия от 0.2 до 0.5 см и длиной от 5–10 до 20–30 м наблюдались на ровных площадках некоторых жилых домов. Такие трещины появились во время землетрясения и на ровной поверхности (шириной 10–14 м) террасы, проложенной для ирригационного канала, на склоне южнее кишлака Мехнатобод. Протяженность трещин прерывистая, от 5–10 до 50 м. На склонах гор произошли камнепады и небольшие обвалы вертикальных откосов сухих лессовидных суглинков (рис. 7–9).



Рис. 7. Характерные повреждения глинобитных домов в эпицентральной зоне

Аналогичные, но в несколько меньшей степени, повреждения жилых и общественных зданий произошли в селениях Холмуроди, Найдара, Сангпар, Кухдоман (Тулки), расположенных на расстоянии от 2 до 9 км от эпицентра.



Рис. 8. Повреждение подсобных глинобитных помещений в эпицентральной зоне

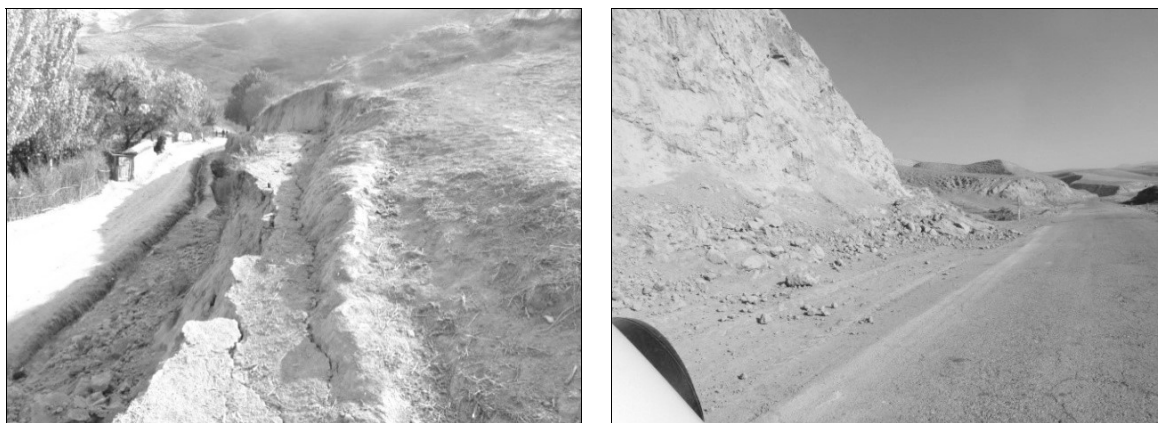


Рис. 9. Обрушение сухих лессовых пород на крутых склонах вдоль автодорог

Интенсивность землетрясения в этих поселениях достигала 5–6 баллов. Значительные повреждения наблюдались здесь в основном в старых ветхих глинобитных жилых домах. Во многих относительно новых постройках образовались тонкие трещины в стенах. Произошло увеличение и продолжение старых трещин в стенах.

Площадь 6-балльной зоны сотрясения составляет около  $30 \text{ км}^2$  (рис. 10).

**$I_1=5$  баллов.** В зону 5-балльного сотрясения вошли 28 населенных пунктов Вахдатского и частично Рудакинского районов, расположенных на расстоянии от 2 до 13 км от эпицентра землетрясения. В этой зоне в отдельных, преимущественно старых, глинобитных домах образовались тонкие трещины в штукатурке стен, произошло раскрытие и увеличение старых трещин в стенах (чаще в угловых сопряжениях стен). Площадь 5-балльной зоны сотрясения составляла около  $400 \text{ км}^2$ .

**$I_1=4$  балла.** Четырехбалльные колебания Вахдатского землетрясения ощущались в западном и восточном направлениях на расстоянии более 40 км, в Гиссаре и Бунгакиёне.

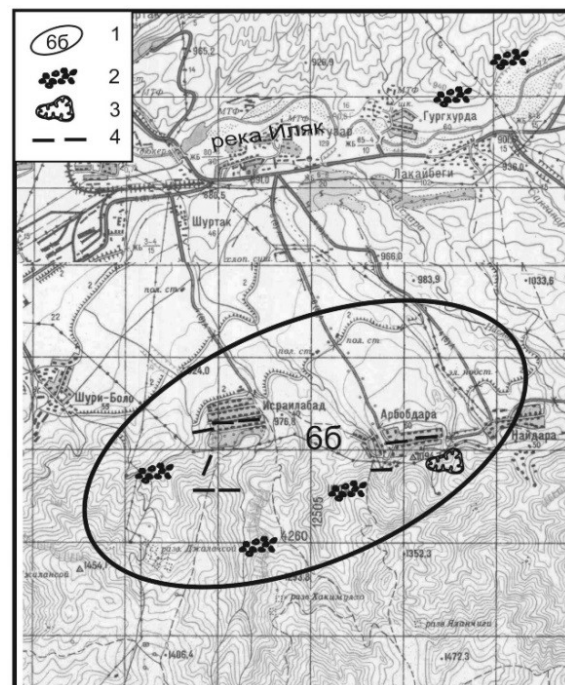


Рис. 10. Схема распространения остаточных деформаций грунтов

1 – эпицентральной 6 балльной зоны; 2 – камнепады и обвалы вертикальных откосов, сложенных лёссами; 3 – просадка грунтов; 4 – трещины в грунтах.

По результатам обследования была составлена упомянутая выше таблица пунктов-баллов (табл. 6). Интенсивность сотрясения определялась по международной шкале MSK-64 [3].

**Таблица 6.** Макросейсмические данные о Вахдатском землетрясении 10 ноября 2013 г. в  $05^h15^m$  с  $K_p=12.4$

№	Пункт	$\varphi^\circ$ N	$\lambda^\circ$ E	$\Delta$ , км	№	Пункт	$\varphi^\circ$ N	$\lambda^\circ$ E	$\Delta$ , км
	<u>6 баллов</u>				38	Гулакандоз	38.43	69.15	11.4
1	Исроилобод	38.49	69.04	1.7	39	Заргар	38.57	69.10	12.7
2	Арбобдара	38.38	69.06	3.5	40	Джалджит	38.56	69.14	13.4
3	Истиклолият	38.46	69.00	3.0	41	Геши	38.44	69.17	12.6
	<u>5–6 баллов</u>				42	Зулмобод	38.37	69.05	11.3
4	Тулки	38.45	69.03	2.2	43	Нефтяник	38.55	68.93	12.4
5	Найдара	38.48	69.08	4.5	44	Чормагзак	38.42	69.17	13.4
6	Сангпар	38.48	69.09	5.3	45	Хиргатарош	38.50	68.85	16.0
7	Холмуроди	38.51	69.10	7.5	46	Хасанобод	38.45	68.82	18.4
	<u>5 баллов</u>					<u>4 балла</u>			
8	Шури Боло	38.48	69.03	1.1	47	Куймот	38.39	69.10	10.8
9	Шури Поен	38.49	69.01	2.8	48	Хасани	38.38	69.01	10.2
10	Абдуллообод	38.50	69.04	3.4	49	Тангаи	38.59	69.05	13.5
11	Яланчанор	38.45	69.07	4.0	50	Гарбулак	38.37	68.96	12.7
12	Карсанг	38.49	68.99	4.1	51	Озоди (Гулго)	38.34	69.07	14.9
13	Анджири Боло	38.44	69.01	3.8	52	Чучу-Поен	38.36	68.94	14.5
14	Анджири Поен	38.44	69.00	4.2	53	Дагана	38.33	68.98	16.2
15	Лакайбеги	38.51	69.07	5.6	54	Нилкон	38.59	68.90	17.5
16	Туркобод	38.50	69.00	4.2	55	Халкаджар	38.53	68.84	17.8
17	Чиртак	38.52	69.03	5.3	56	Ильич	38.48	68.83	17.4
18	Иттифок (Кулбулок)	38.44	68.98	5.5	57	Яван	38.32	69.05	16.8
19	Кали Сафедак	38.49	69.11	7.3	58	Яккабед	38.56	69.21	18.6
20	Ходжабойкул	38.52	68.98	7.2	59	Чуянгарон	38.46	68.80	22.6
21	Чагатой	38.48	69.12	7.9	60	Семиганч	38.65	69.00	20.2
22	Бахор (Галабулок)	38.43	68.95	8.3	61	Шаршар	38.36	69.22	20.6
23	Чепсоли	38.45	69.13	9.0	62	Стаханов	38.47	68.77	23.0
24	Султанабад	38.45	68.94	8.1	63	Душанбе	38.55	68.77	24.0
25	Элок (Дара)	38.49	69.13	8.1	64	Рудаки	38.44	68.77	23.9
26	Баракат (Муллоэш)	38.42	68.97	8.2	65	Файзабад	38.55	69.32	26.0
27	Кизилбулок	38.47	69.14	9.6	66	Чимтеппа	38.46	68.73	27.6
28	Карсу	38.51	68.93	9.8	67	Ляур	38.38	68.71	27.9
29	Торбулок	38.53	69.11	9.6	68	Дубеда	38.57	69.37	31.7
30	Балхи (Джайрабулак)	38.41	68.95	9.6	69	Бунгакиен	38.62	69.47	42.5
31	Бурма	38.45	68.92	9.8		<u>3–4 балла</u>			
32	Калсултони	38.56	69.11	12.2	70	Нурек	38.38	69.32	27.5
33	Джоникуди	38.54	69.14	12.3	71	Чорбог	38.67	68.77	31.0
34	Хаймахмади	38.52	69.17	13.4	72	Тула	38.57	68.47	49.8
35	Карабулок	38.54	69.16	13.7	73	Гиссар. крепость	38.49	68.59	38.2
	<u>4–5 баллов</u>				74	Гиссар	38.52	68.55	42.5
36	Вахдат	38.55	69.02	8.9		<u>3 балла</u>			
37	Пасарык	38.50	68.91	11.0	75	Обигарм	38.72	69.72	66.4
					76	Рогун	38.70	69.75	67.3

По данным табл. 6 построена карта изосейст (рис. 11) данного сейсмического события.

Изосейсты землетрясения имеют форму эллипса, вытянутого с юго-запада на северо-восток. Измеренные по карте изосейст геометрические параметры макросейсмического поля приведены в табл. 7.



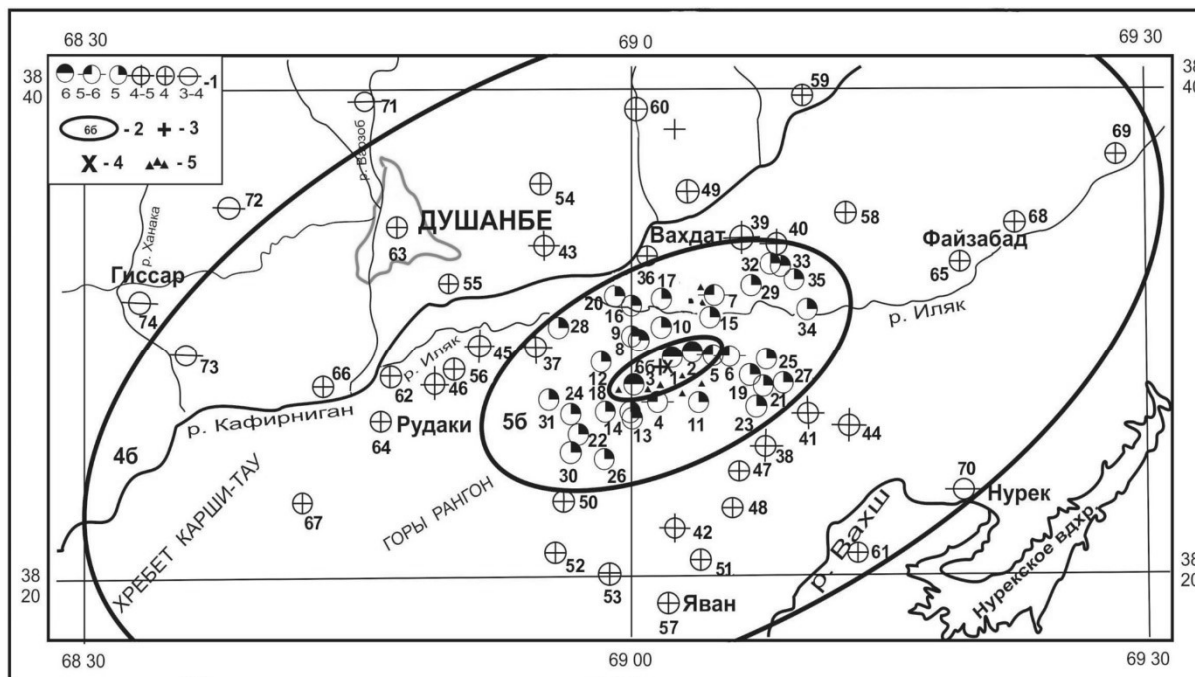


Рис. 11. Схема изосейст Вахдатского землетрясения 10 ноября 2013 г. (Р.У. Джураев)

1 – баллы; 2 – изосейста; 3 – эпицентр по инструментальным данным; 4 – макросейсмический эпицентр; 5 – обвалы лессовых грунтов.

Таблица 7. Геометрические параметры макросейсмического поля Вахдатского землетрясения 10 ноября 2013 г. в 05<sup>h</sup>15<sup>m</sup> с  $K_p=12.4$ ,  $MS=4.7$

$I_i$ , балл	Геометрические параметры поля изосейст				Площадь $S_i$ зоны, $км^2$
	$l_a$	$l_b$	$\bar{l}$	$l_a/l_b$	
6	10.4	3.6	6.11	2.9	29.3
5	32.4	16.0	22.7	1.3	407
4	93.0	48.0	66.8	1.9	3504

Как следует из табл. 7, затухание интенсивности сотрясений в направлении с юго-запада на северо-восток, вдоль продольной оси, по сравнению с поперечным происходило в 2.9 раза быстрее в пределах 6-балльной изосейсты и в среднем в 1.6 раз быстрее в пределах 5- и 4-балльной изосейст. Следует отметить, что столь значительное затухание интенсивности в 6-балльной зоне связано с рельефом местности. Наиболее поврежденные селения расположены на склоне горы крутизной от 10–15 до 20–25°, сложенной на поверхности мощным чехлом лессовидных пород. В северном направлении от них есть селения, расположенные на относительно ровной поверхности, в которых ощущались 5-балльные колебания, несмотря на малые (2.5–3.0 км) удаления от последних.

Координаты эпицентра землетрясения, определенные по макросейсмическим данным как геометрический центр первой изосейсты, почти совпадают с инструментальными данными, что отражено в табл. 1.

**Глубина очага**, определенная по инструментальным данным [1], составляет 10 км. По макросейсмическим данным, согласно [14], можно определить двумя способами: по известному значению интенсивности сотрясений  $I_0$  в эпицентре из уравнения макросейсмического поля Н.В. Шебалина для Средней Азии [15]:

$$I_0 = 1.5 M - 3.5 \lg h + 3.0, \quad (3)$$

при  $MS=4.7$  и  $I_0=6.0$  составляет 10–12 км,

по изосейстам 
$$I_0 - I_i = 3.5 \lg(1 + \Delta^2/h^2)^{1/2} = 5 - 10 \text{ км}. \quad (4)$$

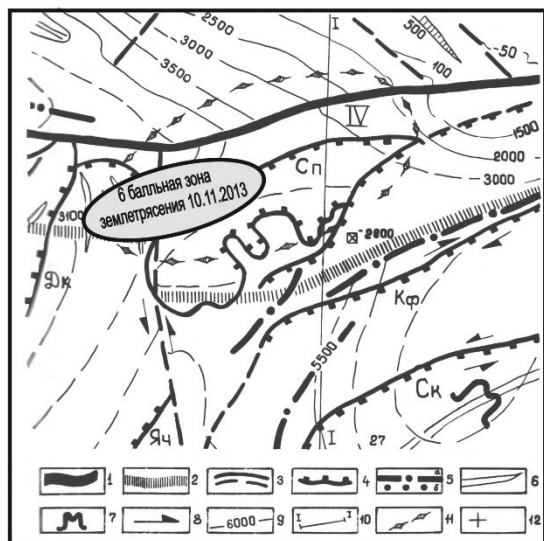


**Горизонтальная протяженность очага ( $L_x$ ),** вычисленная по параметрам первой изосейсты по [16]:

$$L_x = d_{i \max} - d_{i \min}, \text{ равна } 6.8 \text{ км}, \quad (5)$$

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

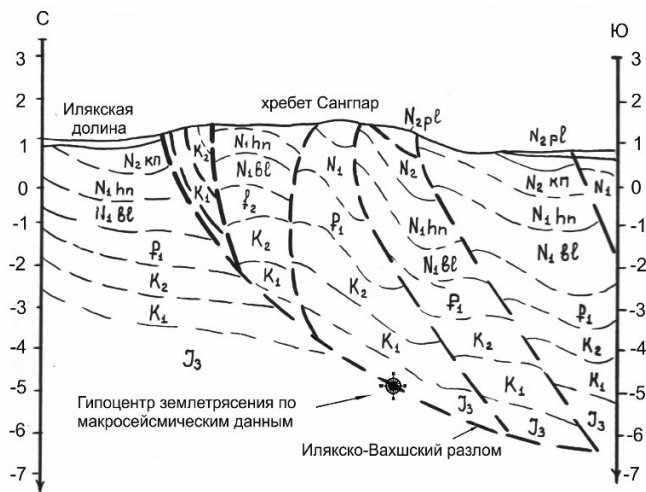
**Тектоническая позиция.** В тектоническом плане Вахдатское землетрясение 10 ноября 2013 г. произошло в северной части Кафирниган-Вахшского антиклинорного поднятия (северная часть Таджикской депрессии), в зоне Илякско-Вахшского разлома. Плейстоценовая 6-балльная область данного землетрясения расположена в пределах Сангпарского антиклинального поднятия, которую слагают верхнеюрские и меловые породы, собранные в нарушенные складки (рис. 12).



**Рис. 12.** Сеймотектоническая схема района Вахдатского землетрясения 11 ноября 2013 г. (тектоническая основа по Я.А. Беккеру [17])

1 – Илякско-Вахшский разлом; 2 – фронтальная линия Илякского разлома (предполагаемое положение в фундаменте); 3 – разломы более высоких порядков; 4 – внутричехольные крупные надвиги, взбросы и взбросо-надвиги; 5 – синклинали а) прослеживаемые, б) предполагаемые; 6 – дисгармоничные антиклинали и складчатые чешуи надсолевого чехла; 7 – формы складок в поперечном сечении; 8 – направление предполагаемых сдвиговых смещений; 9 – изогипсы доюрского фундамента; 10 – линия геолого-геофизического разреза (рис. 12); 11 – эпицентральная зона Сангпарского землетрясения 1982 г. [18]. Разрывные нарушения: Сп–Сангпарский, Дк–Даганакиикийский, Яч–Яланчинорский, Кф–Кафдонский, Ск–Северный-Каратауский.

Последние в северной части структуры опрокинуты и надвинуты к северу, в сторону Илякской долины. Слои верхнеюрских и меловых пород в разрезе образуют как бы веер, сдавленный в основании (рис. 13). Предполагается, что вся Сангпарская структура испытала горизонтальное движение к северу, как и вся фронтальная часть депрессии. Западной границей Сангпарской структуры является Яланчинорский сдвиг почти широтного простирания. В результате перемещения к северу Сангпарской структуры, западные части складок и чешуй, составляющих данную структуру, собраны и круто подвернуты к югу у поверхности Яланчинорского сдвига. По другую же сторону сдвига слои подвернуты и вытянуты в обратном направлении. Ширина зоны сдвига составляет 50 м [17].



**Рис. 13.** Геолого-геофизический разрез по линии I-I

Изосейсты землетрясения в плане образуют форму эллипса, вытянутого в восток–северо-восточном направлении, повторяя протяженность Илякско-Вахшского разлома (рис. 12). Гипоцентр землетрясения на глубине 5–10 км приурочен к южному висячему крылу последнего. Однако плестосейстовая 6-балльная изосейста расположена в пределах Сангпарской структуры Кафирниган-Вахшской зоны. В этой области Сангпарский разрыв и Яланчинорский надвиг, сближаясь, вместе с Илякско-Вахшским разломом образуют сложный дизъюнктивный узел. По данным геофизических исследований, в этом районе поверхность консолидированного

фундамента расположена на глубине 4–5 км [19], а очаг Вахдатского землетрясения находится на глубине 5–10 км, следовательно, он приурочен к поверхности Илякско-Вахшского разлома. Геофизические исследования в Таджикской депрессии не могут достоверно доказать, что разрывные нарушения Таджикской депрессии, в том числе Сангпарское и Яланчинорское, находятся в пределах осадочного чехла и не уходят в фундамент. Очевидно, в этой зоне Яланчинорское и Сангпарское тектонические нарушения в нижней части соленосных отложениях верхней юры подрезаются Илякско-Вахшским разломом.

**Историческая сейсмичность.** Следует отметить, что данный район в сейсмическом отношении является довольно активным. В недавнем прошлом в этом районе произошли 7-балльное Султанабадское (Анджирское) землетрясение 1953 г. [13]; 5–6-балльное Сангпарское 1982 г. [18]; 5-балльное Вахдатское 1988 г. [20]; 5-балльное Вахдатское 2007 г. [21], параметры которых приведены в табл. 8.

**Таблица 8.** Параметры основных сильных землетрясений района исследования за период с 1953 по 2007 гг.

№	Дата д м г	Координаты		h, км	M ± $\delta M$	I <sub>0</sub> , балл	Примечание	Источ- ник
		φ°, N	λ°, E					
1	07.07.1953	38.4	68.9 0.1	5 3–7	4.3 ±0.5	7 ±0.5	Султанабадское (Анджирское): 7–3 км (6); 6–7(1); 5–13(1); 4–21(6); 3–30(1)	[13]
2	29.01.1982	38.47	69.15 0.2	1–2 3–4	4.0 ±0.5	5–6 ±0.5	Сангпарское: 5–6–6(5); 5–27(4); 4–60(6); 3–211(10)	[18]
3	20.05.1988	38.42	69.03	2.5	3.3	5	Вахдатское: 5–3(7); 4–10(17)	[20]
4	15.02.2007	38.5	69.12	5–10	4.2	5	Вахдатское: 5–4(2); 4–8(7)	[21]

**Выводы.** Проведенные исследования показали, что Вахдатское землетрясение имеет тектоническое происхождение и, судя по историческим данным, произошло в зоне Илякско-Вахшского разлома. Небольшие размеры плейстосейстовой области и очага, а также локальное распространение остаточных деформаций свидетельствуют о неглубоком положении очага данного землетрясения. Главными причинами столь значительных повреждений жилых построек в зоне 6-ти балльного сотрясения в основном являются их конструктивные особенности (глинобитные, без фундаментов, стены не имеют связей между собой и т.д.) и в некоторой степени геолого-морфологические условия. Следует отметить, что в данном районе за историческое время землетрясения интенсивностью более 7 баллов не происходило. Однако, учитывая расположенность района в 9-балльной зоне (согласно сейсмическому районированию Таджикистана [22]), следует более серьезно относиться к строительству объектов, в особенности жилых построек, на этой территории. Тем более, что для этого имеются значительное разнообразие вариантов конструкций построек для сельской местности.

#### Л и т е р а т у р а

1. Улубиева Т.Р. (отв. сост.), Рислинг Л.И., Михайлова Р.С., Нилобекова З.Г., Маматкулова З.С., Дмитриева Т.Н., Кутузова А.П., Валявская Т.Н., Артёмова Е.В. (сост.). Каталог землетрясений Таджикистана за 2013 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – Приложение на CD-ROM.
2. Сейсмологический бюллетень (сеть телесеизмических станций), 2013 // ФИЦ ЕГС РАН [Сайт]. – URL: [ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic\\_bulletin/2013](ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2013)
3. Медведев С.В. Международная шкала сейсмической интенсивности // Сейсмическое районирование СССР – М.: Наука, 1968. – С. 151–162.
4. Сайт ГС РАН – URL: <http://www.ceme.gsras.ru>
5. International Seismological Centre, Thatcham, Berkshire, United Kingdom, 2015 [Сайт]. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>
6. Global Centroid Moment Tensor (CMT) Catalog [Сайт]. – URL: <http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>

7. Улубиева Т.Р. (отв. сост.). Форшоки и афтершоки Вахдатского землетрясения 10 ноября 2013 г.  $K_p=12.4$ ,  $M_w=4.9$ ,  $I_0=6$  баллов. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – Приложение на CD\_ROM.
8. Улубиева Т.Р., Джураев Р.У. (отв. сост.), Артёмов Е.В., Лукаш Н.А., Михайлова Р.С. (сост.). Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Таджикистана в 2013 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – Приложение на CD\_ROM.
9. Omori F. On aftershock of earthquakes // J. Coll. Sci. Univ. Tokyo. – 1894. – 7. – P. 111–200.
10. Татевосян Р.Э., Аптекман Ж.Я. Этапы развития афтершоковых последовательностей сильнейших землетрясений Мира // Физика Земли. – 2008. – № 12. – С. 3–23.
11. Коньков А.А. Нурекское землетрясение 22 сентября 1956 г. // Труды Института сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН ТаджССР. 1958. Т. 4.
12. Сейсмический режим // Методы детального изучения сейсмичности. (Труды ИФЗ АН СССР; № 9 (176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960.
13. Михайлова Р.С., Каток А.П., Матасова Л.М., Джанузаков Л.М., Сыдыков А. (отв. сост.). Ш. Средняя Азия и Казахстан [300 до н.э. – 1974 гг.,  $M \geq 5.0$ ,  $MPSP \geq 5.6$ ,  $MPVA \geq 5.3$ ;  $I_0 \geq 6.0$ ] // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 198–296 (246).
14. Шебалин Н.В. Методы использования инженерно-сейсмических данных при сейсмическом районировании // Сейсмическое районирование СССР. – М.: Наука, 1968. – С. 95–111.
15. Шебалин Н.В. Опорные землетрясения и уравнения макросейсмического поля // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 20–30.
16. Шебалин Н.В. Очаги сильных землетрясений на территории СССР. – М.: Наука, 1974. – 54 с.
17. Беккер В.Н., Кузнецов Е.С. и др. Отчет Южно-Таджикской тектонической партии по работам 1974–1976 гг. по теме: «Обобщение геолого-геофизических материалов по Гиссарской долине». – Орджоникидзебад: Фонды ГУГ, 1976 г.
18. Джураев Р.У. и др. Отчет: «Макросейсмическое обследование землетрясений Таджикистана в 1982 г.» – Душанбе: Фонды ТИССС АН РТ, 1983.
19. Беккер А.Я., Кашлаков Г.В., Кузнецов Е.С. Глубинное строение Юго-Западного Таджикистана по геолого-геофизическим данным // Поиски предвестников землетрясений на прогностических полигонах. – М.: Наука, 1974 г.
20. Джураев Р.У. и др. – Отчет: «Макросейсмическое обследование землетрясений Таджикистана в 1988 г.» – Душанбе: Фонды ТИССС АН РТ, 1989.
21. Джураев Р.У. и др. – Отчет: «Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Таджикистана за период с 2006 по 2010 гг.» – Душанбе: Фонды ТИССС АН РТ, 2010.
22. Бабаев А.М., Кошлаков Е.В., Мирзоев К.М. – Сейсмическое районирование Таджикистана. – Душанбе: Дониш, 1978.

## METADATA IN ENGLISH

### *VAHDATS EARTHQUAKE at 10 November 2013*

*with  $K_p=12.4$ ,  $MS=4.7$ ,  $I_0=6$  (Tajikistan)*

*R.U. Juraev*

*Institute of geology, earthquake engineering and seismology of Academy of Sciences of the RT,  
Dushanbe, Republic of Tajikistan, [dhuraev52@mail.ru](mailto:dhuraev52@mail.ru)*

**Abstract.** On November 10, 2013 the strong earthquake occurred in the north part of Kafirnigan-Vakhsh of the anticlinor raising, in the zone of Iliak-Vakhsh fault. The pleistoseist zone of this earthquake with intensity  $I=6$  and area about  $30 \text{ km}^2$  is located within Sangpar anticlinal raising. Information about the consequences of the earthquake was collected in 76 settlements of Tadjikistan, including  $I_1=4$  in its capital, Dushanbe. Three settlements

located on a slope and at the bottom of Sangpar mountain have suffered most strongly. Almost 70 % of dwelling-houses came in uselessness there. The map of isoseists extended to the northeast was made with the isolines of  $I=6$ , 5 and 4. The area of the isoseist with  $I=5$  is  $400 \text{ km}^2$  and  $3500 \text{ km}^2$  for the isoseist with  $I=4$ . The type of movement in the source is a reverse fault with a slight strike-slip along both possible rupture planes. It was preceded by 15 foreshocks and had about 400 aftershocks. It should be noted that this area is quite active in seismic terms, but there were no earthquakes with an intensity of more than 7.

**Keywords:** Tajikistan, map of isoseists, nodal plane, foreshocks, aftershocks.

**DOI:** 10.35540/1818-6254.2019.22.40

**For citation:** Juraev, R.U. (2019). Vahdats earthquake at 10 November 2013 with  $K_p=12.4$ ,  $M_S=4.7$ ,  $I_0=6$  (Tajikistan). *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22 (2013), 453–465. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.40

## References

1. Ulubieva, T.R., Risling, L.I., Mikhailova, R.S., Nilobekova, Z.M., Mamatkulova, Z.S., Dmitrieva, T.N., Kutuzova, A.P., Valiavskaia, T.N., & Lukash, N.A. (2019). Tajikistan earthquake catalog for 2013. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22 (2013), Appendix on CD. (In Russ.).
2. GS RAS, Bulletin of Teleseismic Stations. (2019). Retrieved from [ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic\\_bulletin/2013/](ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2013/)
3. Medvedev, S.V. (1968). International seismic intensity scale. In *Seismicheskoe raionirovanie SSSR* [Seismic zoning of the USSR] (pp. 151–162). Moscow: Nauka Publ. (In Russ.).
4. GS RAS. (2019). Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru>
5. International Seismological Centre. (2019). On-line Bulletin, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom. Retrieved from <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>
6. Global CMT catalog. (2019). Retrieved from <http://www.globalcmt.org/>
7. Ulubieva, T.R. (2019). Forshoki and aftershocks of the Wakhdats earthquake 10.11.2013 with  $K_p=12.4$ ,  $M_w=4.9$ ,  $I_0=6$ . *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22 (2013), Appendix on CD. (In Russ.).
8. Ulubieva, T.R., Dzhuraev, R.U., Artemova, E.V., Lukash, N.A., & Mikhailova, R.S. (2019). Macroseismic effect of tangible earthquakes in Tajikistan in 2013. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22 (2013), Appendix on CD. (In Russ.).
9. Omori, F. (1894). *On the after-shocks of earthquakes* (Vol. 7). The University.
10. Tatevosyan, R.E., & Aptekman, Z.Y. (2008). Aftershock sequences of the strongest earthquakes of the world: Stages of development. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 44 (12), 945–964.
11. Kon'kov, A.A. (1958). [Nurek earthquake of September 22, 1956]. In *Trudy Instituta seismostoitkogo stroitel'stva i seismologii (T. 4)* [Proceedings of the Institute of Earthquake Engineering and Seismology (V.4)]. Dushanbe: Academy of the Tajik Academy of Sciences Publ. (In Russ.).
12. [Seismic regime]. (1960). In *Trudy IFZ AN SSSR (T.9 (176))* [Proceedings of the Institute of Physics of the USSR Academy of Sciences (V.9 (176))]. Moscow: IFZ AN USSR Publ. (In Russ.).
13. Mikhailova, R.S., Katok, A.P., Matasova, L.M., Dzhanzuzakov, L.M., & Sydykov, A. (1977). III. Central Asia and Kazakhstan [300 BC – 1974,  $M \geq 5.0$ ,  $MPSP \geq 5.6$ ,  $MPVA \geq 5.3$ ,  $I_0 \geq 6.0$ ]. In *Novyi katalog sil'nykh zemletriasenii na territorii SSSR s drevneishikh vremen do 1975 g.* [New Catalog of Strong Earthquakes in the Territory of the USSR from Ancient Times to 1975] (pp. 198–296). Moscow: Nauka Publ. (In Russ.).
14. Shebalin, N.V. (1968). Methods of using engineering-seismic data in seismic zoning. In *Seismicheskoe raionirovanie SSSR* [Seismic zoning] (pp. 95–111). Moscow: Nauka Publ. (In Russ.).
15. Shebalin, N.V. (1977). [Reference earthquakes and macroseismic field equations]. In *Novyi katalog sil'nykh zemletriasenii na territorii SSSR s drevneishikh vremen do 1975 g.* [New Catalog of Strong Earthquakes in the Territory of the USSR from Ancient Times to 1975] (pp. 20–30). Moscow: Nauka Publ. (In Russ.).
16. Shebalin, N.V. (1974). *Ochagi sil'nykh zemletriasenii na territorii SSSR* [Sources of strong earthquakes in the USSR]. Moscow: Nauka Publ., 54 p. (In Russ.).
17. Bekker, V.N., Kuznetsov, E.S. et al. (1976). *Otchet Iuzhno-Tadzhikskoi tektonicheskoi partii po rabotam 1974–1976 gg. po teme: «Obobshchenie geologo-geofizicheskikh materialov po Gissarskoi doline»* [Report of the South Tajik Tectonic Party on the works of 1974–1976 on the topic: “Generalization of geological and geophysical materials in the Gissar Valley”]. Ordzhonikidzeabad: GUG funds. (In Russ.).

18. Juraev, R.U. et al (1983). Otchet: «Makroseimicheskoe obsledovanie zemletriasenii Tadzhiqistana v 1982 g.» [Report: “Macro-seismic survey of Tajikistan earthquakes in 1982”]. Dushanbe: TISSS AN RT Funds. (In Russ.).
19. Bekker, A.Ia., Kashlakov, G.V., & Kuznetsov, E.S. (1974). [The deep structure of South-Western Tajikistan according to geological and geophysical data]. In *Poiski predvestnikov zemletriasenii na prognosticheskikh poligonakh* [Searches for earthquake precursors at forecasting ranges]. Moscow: Nauka Publ. (In Russ.).
20. Juraev, R.U. et al (1989). Otchet: «Makroseimicheskoe obsledovanie zemletriasenii Tadzhiqistana v 1988 g.» [Report: “Macro-seismic survey of Tajikistan earthquakes in 1988”]. Dushanbe: TISSS AN RT Funds. (In Russ.).
21. Juraev, R.U. et al (2010). Otchet: «Makroseimicheskoe obsledovanie zemletriasenii Tadzhiqistana za period s 2006 po 2010 gg» [Report: “Macro-seismic survey of Tajikistan earthquakes for the period from 2006 to 2010”]. Dushanbe: TISSS AN RT Funds. (In Russ.).
22. Babaev, A.M., Koshlakov, E.V., & Mirzoev, K.M. (1978). *Seismicheskoe raionirovanie Tadzhiqistana* [Seismic zoning of Tajikistan]. Dushanbe (In Russ.).