

УДК 550.348. (470.67)

## **ОЩУТИМЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА в 2018 году:**

**ЗАМАНКУЛЬСКОЕ 12 апреля с  $K_R=8.9$ ,  $I_0=4$  балла**

**и ЯНДАРСКОЕ 17 октября с  $K_R=11.7$ ,  $I_0=5–6$  баллов**

**И.Ю. Дмитриева, А.А. Саяпина, С.С. Багаева, С.В. Горожанцев**

*Северо-Осетинский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ, e-mail: [sofgsras@gmail.com](mailto:sofgsras@gmail.com)*

**Аннотация.** В работе приведены результаты исследования инструментальных и макросейсмических данных в комплексе с тектонической обстановкой в местах возникновения очагов ощутимых землетрясений – Заманкульского с  $K_R=8.9$  и Яндарского с  $K_R=11.7$ , – произошедших в 2018 г. на территориях Республик Северная Осетия–Алания и Ингушетия. Заманкульское землетрясение, приуроченное к западной ветви Сунженской северной зоны, несмотря на относительно невысокий энергетический класс, ощущалось в пяти населенных пунктах с интенсивностью от 2 до 3–4 баллов. Расчетная интенсивность в его эпицентре оценена в  $I_0=4$  балла. По результатам макросейсмического обследования Яндарского землетрясения построена карта сотрясений в 22 населенных пунктах, в четырех из которых землетрясение не ощущалось. Данные аппроксимированы изосейстами с  $I_i=2, 3, 4, 5$  баллов, определен макросейсмический эпицентр, рассчитана интенсивность сотрясений в эпицентре  $I_0=5–6$  баллов. Для Яндарского землетрясения получен механизм очага, согласно которому землетрясение возникло под действием преобладающих напряжений сжатия, тип движения в очаге – взбросо-сдвиг. Сопоставление нодальных плоскостей с тектоникой региона позволило выбрать в качестве действующей нодальную плоскость  $NP2$  юго-восточного простирания, совпадающую с ориентацией Даттых-Ахловской шовной зоны, к которой приурочен очаг. Приведены сведения об исторической сейсмичности очаговой зоны Яндарского землетрясения за последние 150 лет. Для обоих рассматриваемых событий описаны геолого-тектонические позиции очагов.

**Ключевые слова:** Северный Кавказ, землетрясение, макросейсмические и инструментальные данные, карта изосейст, тектоника, история сейсмичности.

**Для цитирования:** Дмитриева И.Ю., Саяпина А.А., Багаева С.С., Горожанцев С.В. Ощутимые землетрясения Северного Кавказа в 2018 году: Заманкульское 12 апреля 2018 г. с  $K_R=8.9$ ,  $I_0=4$  балла и Яндарское 17 октября 2018 г. с  $K_R=11.7$ ,  $I_0=5–6$  баллов // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – С. 283–292. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.25> EDN: HIZYMI

**Введение.** В 2018 г. на территориях республик Северная Осетия–Алания и Ингушетия были зарегистрированы два ощутимых землетрясения: Заманкульское 12 апреля с  $K_R=8.9$  ( $M_s=2.7$ ),  $I_0=4$  балла [1] и Яндарское 17 октября с  $K_R=11.7$  ( $M_s=4.3$ ),  $I_0=5$  баллов [2] (рис. 1). Сильные и ощутимые землетрясения на рассматриваемых территориях довольно редки, поэтому руководством Северо-Осетинского филиала ФИЦ ЕГС РАН (СОФ ФИЦ ЕГС РАН) было решено провести макросейсмическое обследование зон ощутимости этих землетрясений. Обследование включало выезд сотрудников СОФ ФИЦ ЕГС РАН в эпицентральные зоны и населенные пункты близлежащих районов. Кроме того, анализировалась информация, поступающая от жителей удаленных селений по телефону непосредственно в информационно-обрабатывающий центр (ИОЦ) в г. Владикавказе. Оценка интенсивности сотрясений производилась по реакции людей и предметов на основе шкалы MSK-64 [3]. Целью данной работы было уточнение, на основе комплекса инструментальных, макросейсмических и тектонических данных, положения очагов и их приуроченности к тектоническим структурам региона.

**Заманкульское землетрясение.** Эпицентр землетрясения, произошедшего 12 апреля 2018 г. в 07<sup>h</sup>24<sup>m</sup> UTC, находился в северо-западной части Республики Северная Осетия–Алания в двух километрах юго-западнее села Заманкул. Несмотря на низкий энергетический класс  $K_R=8.9$ , землетрясение ощущалось жителями нескольких близлежащих селений.

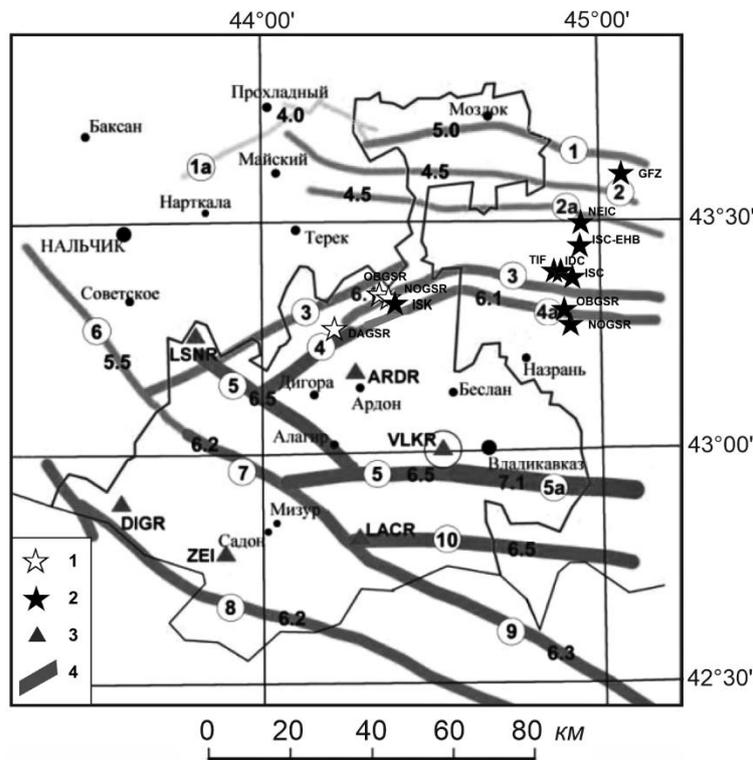
**Инструментальные данные.** Определение параметров Заманкульского землетрясения было произведено по записям 33 региональных сейсмических станций сетей NOGSR Северо-Осетинского филиала, DAGSR Дагестанского филиала и OBGSR Центрального отделения ФИЦ ЕГС РАН. Подробная информация об этих сетях приведена в [4]. Станции, участвовавшие в определении параметров гипоцентра, обеспечили хорошее окружение эпицентра (азимутальная брешь не превышала  $GAP=46^\circ$ ) и находились на эпицентральных расстояниях  $\Delta=0.07–2.12^\circ$ .

В табл. 1. приведены параметры Заманкульского землетрясения, полученные по данным этих сетей, а на рис. 1 показаны приведенные в таблице решения для эпицентра.

**Таблица 1.** Основные параметры Заманкульского землетрясения 12 апреля 2018 г. по данным разных сетей

Агентство	$t_0$ , ч мин с	$\delta t_0$ , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источник
			$\varphi^\circ, N$	$\delta\varphi^\circ$	$\lambda^\circ, E$	$\delta\lambda^\circ$	$h$ , км	$\delta h$ , км		
NOGSR	07 24 32.0	0.7	43.333	–	44.373	–	5.8	1	$K_p=8.9, MPVA=3.7$	[5]
OBGSR	07 24 31.5	0.9	43.342	0.02	44.353	0.02	5.0	2	$K_p=8.9, MPVA=3.7$	[6]
DAGSR	07 24 28.9	0.1	43.267	–	44.213	–	13.0	–	$K_p=9.5$	[6]

Примечания. NOGSR (код NORS в бюллетене ISC [6]) – сеть станций Северо-Осетинского филиала ФИЦ ЕГС РАН; OBGSR (в ISC обозначена как MOS) – сеть, используемая при составлении регионального бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН по Северному Кавказу с центром обработки в г. Обнинске; DAGSR (DRS в ISC) – сеть Дагестанского филиала ФИЦ ЕГС РАН.



**Рис. 1.** Положение Заманкульского 12 апреля 2018 г. (1) и Яндарского 17 октября 2018 г. (2) землетрясений по данным разных сейсмических сетей и обрабатывающих центров на фоне карты-схемы зон ВОЗ [7]

3 – сейсмостанция: LSNR – «Лескен», ARDR – «Ардон», DIGR – «Дигорское ущелье», ZEI – «Цей», LACR – «Лац», VLKR – станция и Центр сбора и обработки данных во Владикавказе; 4 – зона ВОЗ: 1 – Моздокская; 2, 2 а – Терская северная и южная соответственно; 3 – Сунженская северная; 4, 4 а – Сунженская южная, западная и восточная ветвь; 5, 5 а – Владикавказская западная и восточная ветви соответственно; 6 – Нальчикская; 7 – Мизурская; 8 – зона Главного хребта; 9 – зона Бокового хребта; 10 – Кармадонская.

Разброс параметров, представленных в табл. 1, незначителен: по широте  $\Delta\varphi=0.07^\circ$ , по долготе –  $\Delta\lambda=0.16^\circ$ . Наименьшие расхождения в инструментальных определениях координат и глубины гипоцентра наблюдаются по решениям NOGSR и OBGSR. В решениях регионального центра и OBGSR получена небольшая глубина гипоцентра в пределах осадочного чехла [8].

Незадолго до основного толчка, в  $05^h43^m$ , в его очаговой зоне зарегистрирован форшок:  $\varphi=43.38^\circ N$ ,  $\lambda=44.40^\circ E$ ,  $h=6$  км,  $K_p=7.1$ . Величина энергетической ступени между ним и главным толчком составила:  $\Delta K_\phi=8.9-7.1=1.8$ . Афтершокового процесса в классическом смысле, с затуханием по закону Омори или по экспоненте, не было. В апреле не было зарегистрировано ни одного афтершока, в мае – один с  $K_p=6.7$ , в июне – один афтершок 5 июня с  $K_p=5.8$  и рой 18–19 июня из девяти событий с  $K_p=5.0-6.3$ .

*Макросейсмические данные.* Несмотря на небольшую энергию землетрясения, из-за малой глубины ( $h=5.0-5.8$  км по данным ОБГСР и НОГСР) оно ощущалось в нескольких населенных пунктах, расположенных на расстояниях до 10 км от инструментального эпицентра, определенного в НОГСР (табл. 1). Результаты макросейсмического обследования проявлений Заманкульского землетрясения в населенных пунктах приведены в табл. 2, а соответствующая карта пунктов-баллов показана на рис. 2.

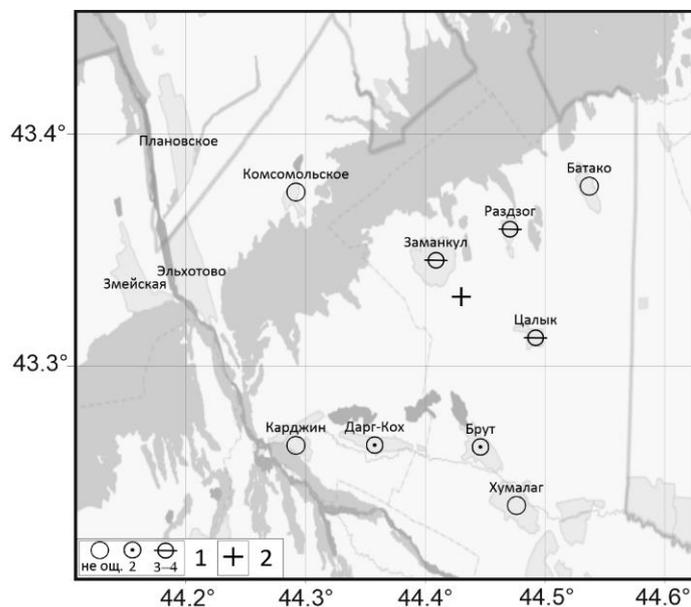
**Таблица 2.** Макросейсмические данные о землетрясении 12 апреля 2018 г.

№	Пункт	$\Delta^*$ , км	Координаты		№	Пункт	$\Delta^*$ , км	Координаты	
			$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E				$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E
<b>3-4 балла</b>					<b>Не ощущалось</b>				
1	Заманкул	3	43.34	44.40	6	Карджин	10	43.26	44.29
2	Раздзог	8	43.36	44.47	7	Комсомольское	8	43.37	44.29
3	Цалык	10	43.31	44.49	8	Хумалаг	13	43.24	44.47
<b>2 балла</b>					9	Батако	14	43.37	44.53
4	Дарг-Кох	8	43.27	44.36					

Примечание.  $\Delta^*$  – расстояние от инструментального эпицентра.

С интенсивностью 3–4 балла землетрясение проявилось в селах Заманкул, Раздзог и Цалык. В ближайшем к эпицентру с. Заманкул люди, находясь на первых этажах кирпичных строений, отмечали толчок и ощущали вибрацию, аналогичную движению тяжелого транспорта, длительностью приблизительно 2 с, некоторые опрошенные почувствовали недомогание. В с. Раздзог в помещениях землетрясение ощутили многие. Некоторые слышали гул и треск окон, отчетливо ощущали резкий толчок, теряли равновесие и замечали незначительное смещение и вибрацию тяжелых предметов.

Наиболее сильно землетрясение почувствовали жители с. Цалык. Первое, что отмечали люди, – это кратковременный глухой подземный гул, похожий на хлопок газа в котле, сразу после которого ощущали толчок продолжительностью 2–3 с. В некоторых случаях легкая мебель скрипела и раскачивалась, незначительно смещалась, дребезжали стекла в окнах.



**Рис. 2.** Карта пунктов-баллов землетрясения 12 апреля 2018 г.

1 – интенсивность сотрясений в баллах по шкале MSK-64; 2 – эпицентр землетрясения по инструментальным данным.

Из сельской школы были эвакуированы дети. В классах на втором этаже образовались тонкие трещины штукатурки. Стоит отметить, что двухэтажное здание школы находится в аварийном состоянии, стены стянуты железными стяжками. Замеченные факты разрушения объясняются скорее ветхостью строений и не могут быть напрямую отнесены к последствиям землетрясения.

Собранных макросейсмических данных, приведенных в табл. 1 и на рис. 2, оказалось недостаточно для построения карты изосейст, однако сведения об интенсивности сотрясений в ближайших населенных пунктах помогли подтвердить расчетную оценку интенсивности в эпицентре  $I_0$ , для получения которой использовалась формула Блэйка-Шебалина [9]:

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

с коэффициентами для Северного Кавказа:  $b=1.6$ ,  $v=3.1$ ,  $c=2.2$ . Магнитуда рассчитана из энергетического класса по формуле Т.Г. Раутиан [10]:  $M=(K_p-4)/1.8$ . Глубина взята по данным NOGSR:  $h=5.8$  км. Полученное расчетное значение  $I_0=4.15$  балла, или, с округлением до полбалла,  $I_0=4$  балла, не противоречит наблюдаемой интенсивности  $I_1=3-4$  балла в трех ближайших населенных пунктах, расположенных на расстояниях  $\Delta=3-10$  км от эпицентра.

*Тектоническая позиция очага и историческая сейсмичность.* Заманкульское землетрясение реализовалось в пределах западной ветви Сунженской северной зоны возникновения очагов землетрясений (ВОЗ) (рис. 1), оконтуривающей с северо-запада территорию Республики Северная Осетия–Алания. Для Сунженской зоны, согласно [7], максимальная возможная магнитуда  $M_{\max}=6.1$ , однако, по сведениям из «Нового Каталога...» [11], здесь не происходило землетрясений с  $M>4.5$ . В восточной части Сунженской зоны ВОЗ отдельные исторические землетрясения были ощутимыми: 7-балльные (1874 г. с  $M=4.5$  и 1971 г. с  $M=4.1$ ), 6-балльные (1861 г., 1872 г., 1958 г., 1970 г.), но в западной части до Заманкульского землетрясения ощутимые толчки неизвестны. За период инструментальных наблюдений здесь характерна низкая сейсмическая активность и зарегистрировано 24 землетрясения с  $K_p=4.8-8.1$ .

**Яндарское землетрясение.** Землетрясение произошло 17 октября 2018 г. в 15<sup>h</sup>55<sup>m</sup> UTC в Назрановском районе Республики Ингушетия и названо Яндарским по названию ближайшего населенного пункта.

*Инструментальные данные.* В региональном центре NOGSR решение параметров Яндарского землетрясения было получено по инструментальным данным 23 региональных сейсмических станций сетей NOGSR, OBGSR и DAGSR. Станции, участвовавшие в определении параметров гипоцентра, находились на эпицентральных расстояниях  $\Delta=0.22-1.75^\circ$ . Параметры очага землетрясения 17 октября 2018 г., полученные в различных сейсмологических центрах, приведены в табл. 3.

**Таблица 3.** Параметры очага Яндарского землетрясения 17 октября 2018 г. по данным различных центров

Агентство	$t_0$ ч мин с	$\delta t_0$ , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источник
			$\varphi^\circ$ , N	$\delta\varphi$ , км	$\lambda^\circ$ , E	$\delta\lambda$ , км	$h$ , км	$\delta h$ , км		
NOGSR	15 55 49.6	–	43.273	–	44.908	–	11.7	0.3	$K_p=11.5$ , $MPVA=5.1$	[5]
OBGSR	15 55 49.6	–	43.295	–	44.873	–	18.6	0.2	$K_p=11.7$ , $MPVA=5.2$	[6]
TIF	15 55 48.7	–	43.389	–	44.861	–	14.1	1.3	–	[6]
IDC	15 55 47.4	0.48	43.388	8.9	44.881	7.2	0f	–	$mb=4.1/21$ , $M_s=3.4/18$ , $ML=4.0/7$	[6]
ISC–EHB	15 55 50.6	–	43.443	2.7	44.938	2.1	15f	–	–	[6]
GFZ	15 55 50.6	0.16	43.598	–	45.063	–	10	–	$M=4.4/34$ , $mb=4.3/34$	[6]
NNC	15 55 51.5	2.5	43.581	51.6	45.415	22.0	–	–	$K_p=10.3$ , $mb=4.4$	[6]
ISK	15 55 51.8	–	43.321	–	44.392	–	5	0.2	$ML=4.1/10$	[6]
NEIC	15 55 52.1	1.3	43.493	10.9	44.942	6.8	28.6	5.5	$mb=4.4/38$	[6]
ISC	15 55 49.5	0.6	43.375	2.54	44.915	1.65	12.7	3.89	$mb=4.2/47$ , $M_s=3.5/13$	[5]

Примечания. NOGSR (код NORS в ISC [6]) – Северо-Осетинский филиал ФИЦ ЕГС РАН; OBGSR (в ISC код MOS) – региональный бюллетень Северного Кавказа ЦО ФИЦ ЕГС РАН; TIF – Институт наук о Земле Национального центра сейсмического мониторинга; IDC – International Data Centre, Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty (CTBTO), Austria; ISC-EHB – бюллетень ISC, пересмотренный и уточненный с использованием алгоритма EHB [12] для минимизации ошибок в местоположении (особенно по глубине) с применением трехмерной структуры Земли; GFZ – Helmholtz Centre, Potsdam; NNC (KNDC) – National Nuclear Centre, Almaty, Kazakhstan; ISK – Kandilli observatory and earthquake Research institute, Turkey; NEIC – National Earthquake Information Center, USA; ISC – International Seismological Center, UK; f – фиксированная глубина.

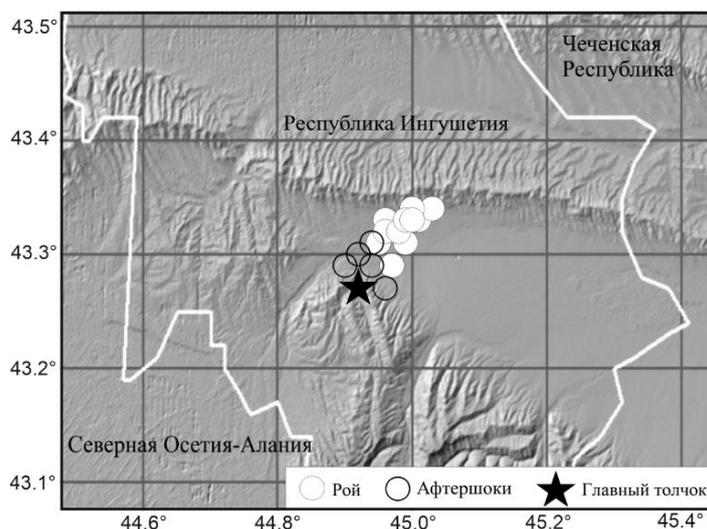
Как следует из табл. 3 и рис. 1, эпицентры большинства агентств по долготе расположены довольно компактно, кроме решений NNC и ISK, однако по широте разброс значительный –  $\varphi=0.325^\circ$ . Наиболее близкими между собой оказались решения NOGSR и OBGSR, которые мы считаем наиболее надежными из-за хорошего окружения эпицентра и близости регистрирующих станций. При дальнейшем анализе сейсмического процесса в очаге Яндарского землетрясения мы используем решение NOGSR.

Анализ предшествующей сейсмичности выявил к северу от будущего очага Яндарского землетрясения 17 октября рой землетрясений, произошедший в течение 4–8 сентября и содержащий 13 событий в диапазоне энергетических классов  $K_p=5.7-10.6$  (табл. 4, рис. 3). Об ощутимости самого сильного толчка этой серии с  $K_p=10.6$  стало известно позднее от жителей г. Карабулака и с. Яндаре в процессе сбора макросейсмических данных.

Афтершоковая последовательность была немногочисленна: всего сетью NOGSR зарегистрировано пять событий (табл. 4). Максимальный афтершок с  $K_p=9$  произошел в тот же день, что и главный толчок, в 22<sup>h</sup>26<sup>m</sup>, его ощутили некоторые жители с. Яндаре и г. Карабулака.

**Таблица 4.** Основные параметры Яндарского землетрясения, предшествовавших ему роевых событий и афтершоков по данным NOGSR [5]

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин	Эпицентр		$h$ , км	$K_p$	№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин	Эпицентр		$h$ , км	$K_p$
			$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E						$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E		
<b>Рой</b>							11	05.09	02 59	43.34	44.99	9	10.6
1	04.09	01 29	43.31	44.99	6	7.9	12	05.09	04 04	43.33	44.99	7	6.2
2	04.09	01 34	43.33	44.96	18	5.9	13	08.09	05 26	43.33	45.0	9	7.6
3	04.09	01 38	43.31	44.95	7	6.8	<b>Основной толчок</b>						
4	04.09	01 40	43.32	44.96	7	5.7		17.10	15 55	43.27	44.92	12	11.7
5	04.09	01 42	43.29	44.97	7	6.2	<b>Афтершоки</b>						
6	04.09	02 02	43.33	45.01	9	7.8	1	17.10	22 26	43.3	44.92	11	9.0
7	04.09	02 57	43.34	45.03	7	7.1	2	18.10	23 20	43.27	44.96	3	6.0
8	04.09	12 07	43.33	45.0	11	7.9	3	19.11	19 57	43.29	44.94	17	8.9
9	04.09	19 02	43.34	45.0	9	10.1	4	29.11	01 51	43.29	44.9	12	6.4
10	04.09	20 47	43.32	44.98	10	7.4	5	05.12	14 31	43.34	44.94	11	7.5



**Рис. 3.** Карта эпицентров предшествующего роя, главного толчка и афтершоков Яндарского землетрясения 17 октября 2018 г.

Области распределения роевых событий и афтершоков ориентированы различно: облако событий роя имеет северо-восточное простирание, тогда как афтершоки расположены вокруг эпицентра главного толчка и ближе нему (рис. 3). Вероятно, рой связан не непосредственно с очагом Яндарского землетрясения, а с участком повышенных напряжений в месте зацепа соседних блоков земной коры, и снятие зацепа в ходе роя позволило произойти основной подвижке.

Механизм очага Яндарского землетрясения [13] рассчитан для модели источника в виде двойного диполя на основе знаков первых вступлений продольных  $P$ -волн [14] на 48 станциях, хорошо окружавших эпицентр и расположенных на расстояниях  $\Delta=0.3\text{--}50.5^\circ$ . Диаграмма механизма очага в стереографической проекции в нижней полусфере показана на рис. 4, его параметры приведены в табл. 5. Согласно полученному решению, землетрясение возникло под действием преобладающих сжимающих напряжений, ориентированных в юго-западном направлении. Тип подвижки в очаге соответствовал левостороннему взбросо-сдвигу по пологой плоскости  $NP1$  широтного простирания, или взбросу с правосторонним сдвигом по крутой плоскости  $NP2$  юго-восточного простирания. Отметим, что взброс по плоскости юго-восточного (северо-западного) простирания типичен для кавказских коровых землетрясений.

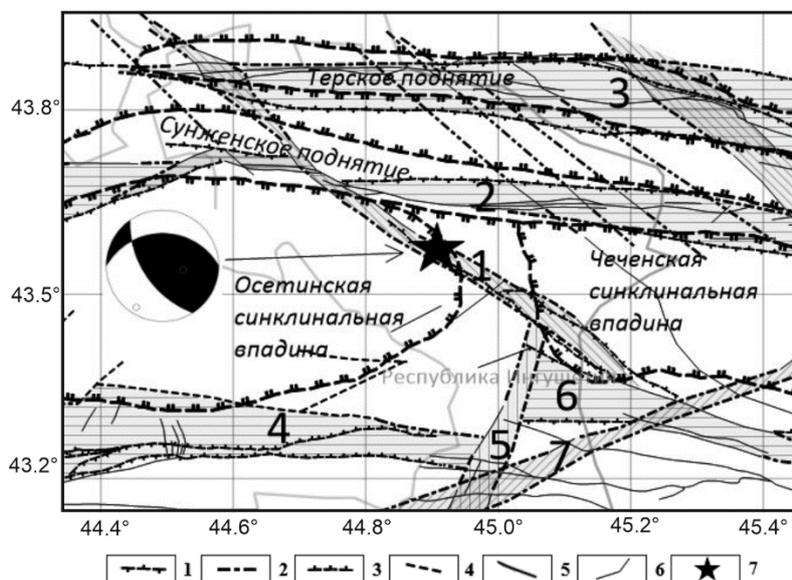


Рис. 4. Тектоническая позиция и стереограмма механизма очага Яндарского землетрясения

1 – нарушения, выделенные по геофизическим данным; 2 – границы разломных зон; 3 – локальные структурные разломы-надвиги; 4 – границы тектоно-структурных зон; 5 – нарушения в пределах выделенных зон; 6 – прочие нарушения; 7 – эпицентр землетрясения 17.10.2018 года. Цифрами на карте обозначены: 1 – Даттых-Ахловская шовно-сдвиговая зона; 2 – Сунженский разлом; 3 – Терский разлом; 4 – зона Владикавказского разлома; 5 – зона Ассинского разлома; 6 – Черногогорский разлом; 7 – зона Казбекско-Астраханского линеймента-сдвига диагонального разлома.

Таблица 5. Параметры механизма очага землетрясения 17 октября 2018 г.

Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
$T$		$P$		$N$		$NP1$			$NP2$		
$PL$	$AZM$	$PL$	$AZM$	$PL$	$AZM$	$STK$	$DP$	$SLIP$	$STK$	$DP$	$SLIP$
58	102	11	210	29	307	269	42	43	144	62	124

**Тектоническая позиция очага.** Очаг рассматриваемого землетрясения расположен на границе между Сунженским поднятием и Осетинской синклиналичной впадиной в пределах диагональной Даттых-Ахловской шовной зоны (рис. 4), пересекающей Терско-Каспийский передовой прогиб с северо-запада на юго-восток [15]. С этой шовной зоной можно ассоциировать простирание одной из нодальных плоскостей ( $NP2$ ).

**Макросейсмические данные.** Яндарское землетрясение стало первым ощутимым землетрясением в Республике Ингушетия, для которого сотрудникам СОФ ФИЦ ЕГС РАН удалось собрать макросейсмические данные. Обследованию были подвергнуты в основном одно- и двухэтажные жилые дома (за исключением г. Магаса) и некоторые здания административного значения.

С интенсивностью 5 баллов землетрясение проявилось в селе Яндаре, станице Троицкая и г. Карабулаке. Оно было замечено практически всеми жителями этих населенных пунктов. Многие люди испытывали сильный испуг, некоторые покидали помещения. В домах сильно раскачивались всяческие предметы, дребезжала посуда, вибрировали мебель и предметы домашнего

обихода. В магазине с полок падали легкие предметы. В отдельных кирпичных домах наблюдались трещины в стенах. При землетрясении был слышен подземный гул, схожий со звуковым эффектом, издаваемым взрывом.

Интенсивность колебаний 4 балла была зафиксирована в населенных пунктах Плиево, Барсуки, Сунжа. Здесь землетрясение ощутили многие люди, находящиеся в покое. В помещениях дрожала мебель, колебались всяческие предметы. Паники у людей не было, просто замерли в оцепенении.

В Магасе, Али-Юрте, Средних Ачалуках осязательность землетрясения составила 3 балла. Люди, находившиеся в покое, чувствовали плавное покачивание. В домах были заметны колебания всяческих предметов, дребезжание посуды.

Интенсивность сотрясений в 2 балла оценена по вибрации легких предметов в населенных пунктах Берд-Юрт, Майское, Галашки, Чермен, Зязиков-Юрт, Гайрбек-Юрт и Батако.

Во Владикавказе землетрясение ощущалось на верхних этажах многоэтажных зданий.

Обобщенные результаты оценки интенсивности сотрясений в населенных пунктах приведены в табл. 6, а соответствующая карта пунктов-баллов и изосейст представлена на рис. 5.

Таблица 6. Макросейсмические данные о землетрясении 17 октября 2018 г.

№	Пункт	$\Delta^*$ , км	Координаты		№	Пункт	$\Delta^*$ , км	Координаты	
			$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E				$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E
<b>5 баллов</b>					<b>2 балла</b>				
1	Троицкая	3	43.31	44.99	11	Средние Ачалуки	19	43.37	44.73
2	Яндаре	4	43.28	44.91	12	Майское	22	43.19	44.72
3	Карабулак	4	43.31	44.91	13	Галашки	24	43.08	44.98
<b>4 балла</b>					<b>ощущалось</b>				
4	Сунжа	8	43.32	45.05	15	Чермен	26	43.15	44.71
5	Плиево	10	43.29	44.84	16	Гайрбек-Юрт	30	43.40	44.60
6	Барсуки	12	43.26	44.81	17	Батако	34	43.38	44.54
<b>3-4 балла</b>					<b>не ощущалось</b>				
7	Назрань	17	43.23	44.77	18	Владикавказ	37	43.02	44.68
<b>3 балла</b>					<b>не ощущалось</b>				
8	Берд-Юрт	16	43.22	45.11	19	Михайловское	34	43.10	44.63
9	Магас	18	43.17	44.80	20	Беслан	35	43.19	44.54
10	Али-Юрт	19	43.15	44.85	21	Сагопши	35	43.49	44.59
					22	Пседах	36	43.47	44.57

$\Delta^*$  – расстояние от макросейсмического эпицентра

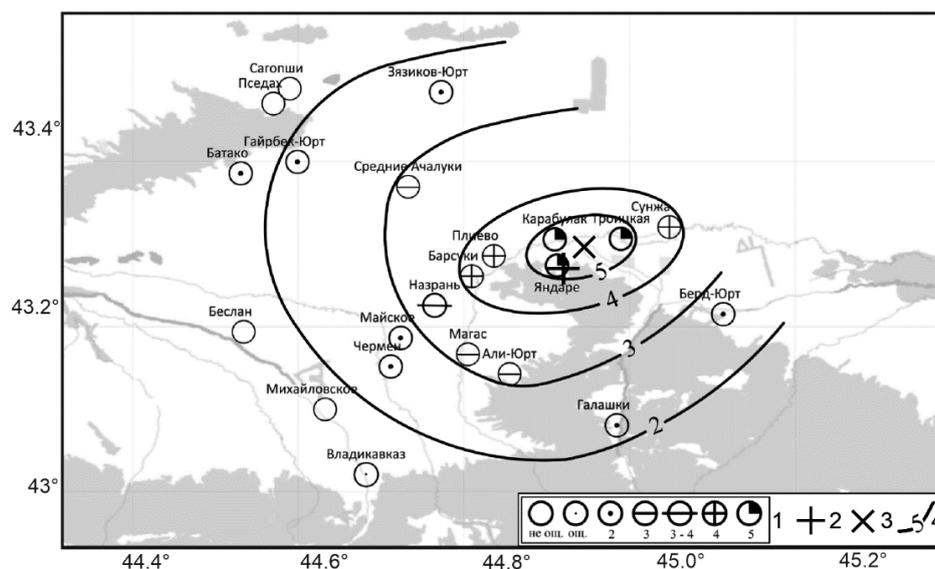


Рис. 5. Карта пунктов-баллов и фрагменты изосейст землетрясения 17 октября 2018 г.

1 – интенсивность сотрясений в баллах по шкале MSK-64; 2 – эпицентр землетрясения по инструментальным данным; 3 – макросейсмический эпицентр; 4 – изосейсты.

Инструментальный эпицентр по данным NOGSR совпадает с местоположением села Яндаре с интенсивностью сотрясений 5 баллов (рис. 5), а центр первой изосейсты с координатами:  $\varphi=43.30^{\circ}\text{N}$ ,  $\lambda=44.95^{\circ}\text{E}$ , являющийся макросейсмическим эпицентром, расположен в 4 км к северо-западу. Оценим расчетную интенсивность в эпицентре отдельно по данным NOGSR и OBGRS, приведенным в табл. 3, используя формулу (1) с коэффициентами для Северного Кавказа:  $b=1.6$ ,  $v=3.1$ ,  $c=2.2$ . Глубину  $h$  и энергетический класс  $K_p$  возьмем из табл. 3 по данным каждого центра, а значения магнитуды для подстановки в эту формулу пересчитаем из  $K_p$  по формуле Т.Г. Раутиан [10]: ( $M=(K_p-4)/1.8$ ). В результате получим  $I_0=5.56$  балла по данным NOGSR и  $I_0=5.11$  балла по данным OBGRS. За окончательное примем среднее значение  $I_0=5-6$  баллов.

Изосейсты на рис. 5 вытянуты в северо-восточном направлении, поперечном ориентации основных тектонических структур, включая Даттых-Ахловскую шовную зону, к которой приурочен очаг Яндарского землетрясения (рис. 4). Скорее всего, это связано с недостаточным количеством данных для построения первых изосейст (по три пункта на изосейсты 5-го и 4-го баллов). В результате в данном случае ориентация первых изосейст не может служить надежным параметром для определения ориентации плоскости разрыва.

*Историческая сейсмичность.* В соответствии с рис. 1, эпицентр землетрясения по данным NOGSR и OBGRS находился в Сунженской южной зоне, для которой максимально возможная магнитуда составляет  $M_{\max}=6.1$ . В действительности такие магнитуды здесь пока не зафиксированы. По данным [11] была рассмотрена история сейсмичности очаговой зоны исследуемого землетрясения за последние 150 лет. Параметры сильнейших и ощутимых землетрясений в рассматриваемой зоне приведены в табл. 7. Исходя из исторических и инструментальных данных, можно заключить, что землетрясения, сопоставимые или превосходящие по энергетическому классу Яндарское, происходили здесь довольно редко.

**Таблица 7.** Основные параметры сильнейших исторических землетрясений в районе Яндарского землетрясения

№	Дата	Время	Эпицентр		$h$ , км	$M$	$I_0$ , баллы
			$\varphi^{\circ}$ , N	$\lambda^{\circ}$ , E			
1	01.03.1872	22:00	43.20	45.00	7	4.0	6
		$\pm 1$ сутки	$\pm 0.2$	$\pm 0.2$	3–14	$\pm 0.7$	$\pm 1$
2	23.08.1874	22:50	43.20	44.80	6	4.5	7
		$\pm 10$ мин	$\pm 0.2$	$\pm 0.2$	3–12	$\pm 0.7$	$\pm 0.5$
3	26.06.1939	20:06	43.3	44.9	12	4.4	5–6
			$\pm 0.2$	$\pm 0.2$	8–18	$\pm 0.5$	$\pm 0.5$
4	12.06.1946	04:35:43	43.2	44.9	(15)	4.4	–
		$\pm 5$ с	$\pm 0.5$	$\pm 0.5$	5–50	$\pm 0.5$	

**Заключение.** Показано, что оба исследуемых землетрясения произошли в Сунженской зоне с сейсмическим потенциалом  $M_{\max}=6.1$ , причем эпицентр Заманкульского землетрясения приурочен к западному участку северной ветви, а Яндарского – к восточному участку южной ветви этой зоны. За исторический период времени в восточной части зоны известно несколько землетрясений, близких по магнитуде к Яндарскому, тогда как на западном участке Сунженской зоны Заманкульское – самое крупное из известных здесь землетрясений.

На основе комплексного анализа инструментальных и макросейсмических данных определены интенсивности сотрясений в эпицентрах исследуемых землетрясений –  $I_0=4$  балла для Заманкульского и  $I_0=5-6$  баллов для Яндарского, для которого также построена карта изосейст и определен макросейсмический эпицентр.

Сопоставление нодальных плоскостей механизма очага Яндарского землетрясения с тектоникой региона и детальной схемой сейсмогенерирующих структур позволило выбрать в качестве действующей плоскость  $NP2$  юго-восточного простирания, совпадающую с ориентацией Даттых-Ахловской шовной зоны, к которой очаг приурочен.

Полученные сведения способствуют лучшему пониманию сейсмических процессов, оказывающих влияние на жизнедеятельность в сейсмически опасном регионе на территориях Северной Осетии и Ингушетии, а данные о макросейсмических проявлениях описанных землетрясений важны для уточнения модели сейсмического эффекта в регионе и оценки сейсмического риска.

## Л и т е р а т у р а

1. Багаева С.С., Саяпина А.А., Горожанцев С.В., Погода Э.В. Макросейсмические проявления Заманкульского землетрясения 12 апреля 2018 г. // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XIII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 39–42.
2. Дмитриева И.Ю., Саяпина А.А., Багаева С.С., Горожанцев С.В. О макросейсмических проявлениях Яндарского землетрясения 17 октября 2018 г. // Геология и геофизика Юга России. – 2019. – Т. 9, № 3. – С. 151–160.
3. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Международная шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
4. Габсатарова И.П., Даниялов М.Г., Мехрюшев Д.Ю., Погода Э.В., Янков А.Ю. Северный Кавказ // Землетрясения России в 2015 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 17–27.
5. North Osetia Regional Seismic Network of the Russian Federation [Data set]. (1993) // International Federation of Digital Seismograph Networks. – North Osetia Branch of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences. – URL: <https://doi.org/10.7914/kmx2-4r56>
6. International Seismological Centre. (2023). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
7. Рогожин Е.А., Габсатарова И.П., Погода Э.В. Зоны ВОЗ и сейсмичность территории Республики Северная Осетия–Алания // Сейсмичность Северной Евразии. Материалы Международной конференции, посвященной 10-летию выпуска сборника научных трудов «Землетрясения Северной Евразии», Обнинск, 28–31 июля 2008 г. – Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 243–249.
8. Краснопевцева Г.В. Глубинное строение Кавказского сейсмоактивного региона. – М.: Наука, 1984. – 109 с.
9. Кондорская Н.В., Шебалин Н.В. Новый каталог землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – 536 с.
10. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности (Труды ИФЗ АН СССР; № 9 (176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
11. Бабаян Т.О., Кулиев Ф.Т., Папалашвили В.Г., Шебалин Н.В., Вандышева Н.В. (отв. сост.). II б. Кавказ [50–1974 гг.,  $M \geq 4.0$ ,  $I_0 \geq 5$ ] // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 69–170.
12. Engdahl E.R., van der Hilst R., Buland R. Global teleseismic earthquake relocation with improved travel times and procedures for depth determination // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1998. – V. 88, N 3. – P. 722–743.
13. Габсатарова И.П., Гилёва Н.А., Богинская Н.В., Иванова Е.И., Малянова Л.С., Сафонов Д.А., Середкина А.И. Механизмы очагов отдельных землетрясений России // Землетрясения России в 2018 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 193–201.
14. Ландер А.В. Комплекс программ определения механизмов очагов землетрясений и их графического представления // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки и Командорских островов (01.01.2003–31.12.2003) / Отчет КОМСП ГС РАН. – Петропавловск-Камчатский: Фонды КФ ГС РАН, 2004. – 350 с.
15. Несмеянов С.А., Лутиков А.И., Шукин Ю.К., Донцова Г.Ю. Сейсмогенерирующие структуры // Комплексная оценка сейсмической опасности территории г. Грозный. – М.: Минстрой России, 1996. – С. 38–47.

### ***EARTHQUAKES FELT in the NORTH CAUCASUS in 2018:***

#### ***ZAMANKUL EARTHQUAKE on APRIL 12, 2018 with $K_R=8.9$ , $I_0=4$***

#### ***and YANDARE EARTHQUAKE on OCTOBER 17, 2018 with $K_R=11.7$ , $I_0=5-6$***

***I.Yu. Dmitrieva, A.A. Sayapina, S.S. Bagaeva, S.V. Gorozhantsev***

*North Osetija Branch of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences,  
Vladikavkaz, Russia, [sofgras@gmail.com](mailto:sofgras@gmail.com)*

**Abstract.** The article provides the instrumental and macroseismic data of two perceptible earthquakes which occurred in 2018 on the territory of the North Caucasus republics – Zamankul earthquake with  $K_R=8.9$  in North Ossetia-Alania and Yandare earthquake with  $K_R=11.7$  in Ingushetia. The tectonic situation at the sites of the foci of these seismic events was also taken into account. Zamankul earthquake was felt in five settlements with an intensity from 2 to 3–4 points despite its relatively low energy class. The intensity at its epicenter is estimated as  $I_0=4$ . According to the results of the macroseismic survey of Yandare earthquake, a map of its impact in 22 settlements is built. The data are approximated by isoseists of  $I=2, 3, 4, 5$ . The intensity in the epicenter is estimated as  $I_0=5-6$ . According to the focal mechanism solution, the earthquake occurred under the influence of prevailing compressive stress. The type of movement in the source is reverse fault with

significant strike-slip component. Comparison of the nodal planes with the tectonics of the region made it possible to choose as the active nodal plane *NP2* of southeastern strike, coinciding with the orientation of the Dattikh-Akhlov fault zone, to which the source is confined. Information on historical seismicity in the Yandare earthquake focal zone is given for the last 150 years. Geological and tectonic positions for both considered earthquakes are described.

**Keywords.** North Caucasus, earthquake, macroseismic and instrumental data, isoseist map, tectonics, history of seismicity.

**For citation:** Dmitrieva, I.Yu., Sayapina, A.A., Bagaeva, S.S., & Gorozhantsev, S.V. (2023). [Earthquakes felt in the North Caucasus in 2018: Zamankul earthquake on April 12, 2018 with  $K_R=8.9$ ,  $I_0=4$  and Yandare earthquake on October 17, 2018 with  $K_R=11.7$ ,  $I_0=5-6$ ]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019), 283–292. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.25> EDN: HIZYMI

## References

1. Bagaeva, S.S., Sayapina, A.A., Gorozhantsev, S.V., & Pogoda, E.V. (2018). [Macroscopic manifestations of the Zamankul earthquake on April 12, 2018]. In *Materialy XIII Mezhdunarodnoi seismologicheskoi shkoly "Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh"* [Proceedings of XIII International Seismological Workshop "Modern methods of Processing and Interpretation of Seismological Data"] (pp. 39–42). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
2. Dmitrieva, I.Yu., Sayapina, A.A., Bagaeva, S.S., & Gorozhantsev, S.V. (2019). [About Macroscopic Displays of Yandare Earthquake, October 17, 2018]. *Geologiya i geofizika Yuga Rossii* [Geology and Geophysics of Russian South], 9(3), 151–160. (In Russ.).
3. Medvedev, S.V., Shponhoyer, V., & Karnik, V. (1965). *Mezhdunarodnaya shkala seysmicheskoy intensivnosti MSK-64* [MSK-64 International seismic intensity scale]. Moscow, Russia: MGK Academy of Sciences USSR Publ., 11 p. (In Russ.).
4. Gabsatarova, I.P., Daniyalov, M.G., Mekhriushev, D.Yu., Pogoda, E.V., & Yankov, A.Yu. (2017). [North Caucasus]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2015 godu* [Earthquakes in Russia, 2015] (pp. 17–27). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
5. North Osetia Regional Seismic Network of the Russian Federation [Data set]. (1993). *International Federation of Digital Seismograph Networks*. Retrieved from <https://doi.org/10.7914/kmx2-4r56>
6. International Seismological Centre. (2023). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
7. Rogozhin, E.A., Gabsatarova, I.P., & Pogoda, E.V. (2008). [The zones of occurrence source earthquake and seismicity in territory of Republic Northern Osetia-Alania]. In *Materialy Mezhdunarodnoi konferentsii, posviashchennoi 10-letiiu vypuska sbornika nauchnykh trudov "Zemletriaseniia Severnoi Evrazii" "Seismichnost Severnoi Evrazii"* [Materials of International Conference "Seismicity of Northern Eurasia"] (pp. 243–249). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
8. Krasnopevtseva, G.V. (1984). *Glubinnoe stroenie Kavkazskogo seismoaktivnogo regiona* [The deep structure of the Caucasus seismically active region]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 109 p. (In Russ.).
9. Kondorskaya, N.V., & Shebalin, N.V. (1977). [New catalog of strong earthquakes in the USSR from ancient times through 1975]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 536 p. (In Russ.).
10. 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.).
11. Babayan, T.O., Kuliev, F.T., Papalashvili, V.G., Shebalin, N.V., & Vandysheva, N.V. (1977). [Caucasus (50–1974.;  $M \geq 4.0$ ,  $I_0 \geq 5$ )]. In *Novyi katalog sil'nykh zemletriasenii na territorii SSSR s drevneishikh vremen do 1975 goda* [A new catalog of strong earthquakes on the territory of the USSR from ancient times to 1975] (pp. 69–170). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
12. Engdahl, E.R., van der Hilst, R., & Buland, R. (1998). Global teleseismic earthquake relocation with improved travel times and procedures for depth determination. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88(3), 722–743.
13. Gabsatarova, I.P., Gileva, N.A., Boginskaya, N.V., Ivanova, E.I., Malyanova, L.S., Safonov, D.A., & Serechkina, A.I. (2019). [Focal mechanisms of individual earthquakes in Russia]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2018 godu* [Earthquakes in Russia, 2018] (pp. 193–201). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
14. Lander, A.V. (2004). [The complex of programs for determining the mechanisms of earthquake foci and their graphic representation]. In *Otchet KOMSP GS RAN "Kompleksnye seismologicheskie i geofizicheskie issledovaniia Kamchatki i Komandorskikh ostrovov (01.01.2003–31.12.2003)"* [Report of KomSP GS RAS "Complex seismological and geophysical studies of Kamchatka and the Komandor islands (01.01.2003–31.12.2003)"]. Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia: Funds KF GS RAS Publ. (In Russ.).
15. Nesmeyanov, S.A., Lutikov, A.I., Shchukin, Yu.K., & Dontsova, G.Yu. (1996). [Seismogenic structures]. In *Kompleksnaya otsenka seysmicheskoy opasnosti territorii g. Grozny* [Comprehensive assessment of seismic hazard in the territory of the city of Grozny] (pp. 38–47). Moscow, Russia: Ministry of Construction of Russia Publ. (In Russ.).