

УДК 550.348. (470.67)

ОЩУТИМЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА в 2020 году:

ВЕРХНЕ-ФИАГДОНСКОЕ 26 ЯНВАРЯ с $K_p=11.2$, $I_0=5$ баллов

и ДЖЕЙРАХСКОЕ 24 МАЯ с $K_p=10.6$, $I_0=4$ балла

И.Ю. Дмитриева, С.С. Багаева, А.А. Саяпина

Северо-Осетинский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ, e-mail: sofgsras@gmail.com

Аннотация. В 2020 г. на юге республик Северная Осетия–Алания и Ингушетия были зарегистрированы два ощутимые землетрясения: 26 января с $K_p=11.2$ и 24 мая с $K_p=10.6$. Землетрясения произошли в различных сеймотектонических условиях. Очаг первого события сформировался в пределах Адайком-Казбекского разлома, второго – Кармадонской зоны ВОЗ. Землетрясение 26 января, названное Верхне-Фиагдонским, стало сильнейшим инструментально зарегистрированным землетрясением в Северной Осетии с момента создания на ее территории сети сейсмологических наблюдений. Оно ощущалось в 19 населенных пунктах с интенсивностью от 2 до 4–5 баллов. Расчетная интенсивность в его эпицентре оценена в $I_0=5$ баллов. Для Верхне-Фиагдонского землетрясения получен механизм очага, согласно которому землетрясение возникло под действием преобладающих напряжений сжатия, тип движения в очаге – взбросо-сдвиг, согласующийся с разломной зоной, к которой приурочен очаг. Землетрясение 24 мая, названное Джейрахским, ощущалось в 12 населенных пунктах от 2 до 4 баллов. В очаге преобладали напряжения растяжения, ориентированные в юго-западном направлении. Тип подвижки – сброс по обеим плоскостям с незначительными компонентами сдвига. Для обоих землетрясений приведены сведения об исторической сейсмичности очаговых зон за последние 150 лет и построены карты сотрясений по результатам макросейсмических обследований.

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

Для цитирования: Дмитриева И.Ю., Багаева С.С., Саяпина А.А. Ощутимые землетрясения Северного Кавказа в 2020 году: Верхне-Фиагдонское 26 января 2020 г. с $K_p=11.2$, $I_0=5$ баллов и Джейрахское 24 мая 2020 г. с $K_p=10.6$, $I_0=4$ балла // Землетрясения Северной Евразии. – 2024. – Вып. 27 (2020). – С. 265–276. <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.24> EDN: QNHDOA

Введение. В 2020 г. на юге республик Северная Осетия–Алания и Ингушетия были зарегистрированы два ощутимых землетрясения: 26 января в 21^h01^m UTC (в 00^h01^m местного времени) с $K_p=11.2$, $I_0=5$ баллов [1] и 24 мая в 12^h33^m UTC (в 15^h33^m местного времени) с $K_p=10.6$, $I_0=4$ балла [2], названные по месту положения эпицентров Верхне-Фиагдонским и Джейрахским.

Землетрясение 26 января реализовалось в горной местности в 20 км юго-западнее села Верхний Фиагдон и в 12 км севернее российско-грузинской границы. Оно стало сильнейшим инструментально зарегистрированным землетрясением в Северной Осетии с момента создания на ее территории сети сейсмологических наблюдений [3, 4].

Землетрясение 24 мая произошло на территории Джейрахского района Республики Ингушетия в 7 км юго-восточнее села Джейрах и в 2 км севернее российско-грузинской границы. Так как землетрясение произошло в приграничной зоне, оно ощущалось жителями республик Северная Осетия–Алания и Ингушетия, а также Казбекского муниципалитета Грузии.

Макросейсмическая информация по этим землетрясениям собрана авторами настоящей статьи непосредственно по опросу населения в ближайших к эпицентральной зонам населенных пунктах на территории РСО–Алания, а также с помощью данных из микроблогов и социальных сетей в интернете. Об ощутимости Джейрахского землетрясения на территории Ингушетии информация была получена от сотрудников МЧС республики. Выезд для опроса населения в этом направлении не осуществлялся в связи с закрытием административных границ из-за мероприятий по нераспространению новой коронавирусной инфекции Covid-19. Оценка интенсивности проводилась по реакции людей и предметов быта на основе шкалы MSK-64 [5].

Целью настоящей работы является описание имеющейся инструментальной и макросейсмической информации об исследуемых землетрясениях, построение механизмов очагов и уточнение их приуроченности к тектоническим структурам региона.

Верхне-Фиагдонское землетрясение 26 января 2020 г. с $K_p=11.2$.

Инструментальные данные. Для данной статьи авторами были переопределены параметры гипоцентра Верхне-Фиагдонского землетрясения с помощью скоростной модели земной

коры Восточной части Большого Кавказа [6], более подходящей для исследуемого района, в отличие от ранее используемой модели земной коры Терско-Каспийского прогиба. Локация проводилась по временам вступлений *P*- и *S*-волн, выделенных на записях 34 региональных станций (вместо ранее обработанных 20), удаленных от эпицентра на расстояния от 18 до 353 км. В табл. 1 приведены параметры очага землетрясения 26 января 2020 г., полученные в различных сейсмологических центрах, а также решение регионального центра NOGSR, опубликованное в [1]. На рис. 1 показаны приведенные в таблице решения для эпицентра.

Таблица 1. Основные параметры Верхне-Фиагдонского землетрясения 26 января 2020 г. по данным различных сейсмологических центров

Агентство	t_0 ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источник
			φ° , N	$\delta\varphi$, км	λ° , E	$\delta\lambda$, км	h , км	δh , км		
NOGSR1	21 01 36.9	–	42.720	–	44.123	–	12.2	–	$K_p=11.2$, $MPVA=5.3$	Наст. статья
NOGSR2	21 01 37.8	–	42.663	–	44.150	–	5.6	–	$K_p=11.2$, $MPVA=5.3$	[1]
OBGSR	21 01 39.1	–	42.718	–	44.128	–	17	5	$K_p=11.1$, $MPVA=5$, $MPSP=4.2/5$	[7]
DAGSR	21 01 42.1	–	42.682	–	44.457	–	54	–	$K_p=11.0$	[8]
TIF	21 01 38.2	–	42.812	–	44.243	–	10.7	1.0		[8]
IDC	21 01 37.9	0.59	42.804	10.2	44.159	7.1	0f	–	$mb=3.6/13$, $MS=3.1/11$, $ML=3.8/6$	[8]
IASPEI	21 01 38.9	0.95	42.778	3.04	44.195	2.704	5.2	7.8	$mb=3.7/15$, $MS=3.1/6$	[8]
NEIC	21 01 40.1	1.5	42.938	10.8	44.309	6.4	10f	–	$mb=4.2/14$	[8]
ISC	21 01 39.1	0.6	42.785	2.14	44.235	1.74	10.2	4.07	$mb=3.7/15$, $MS=3.1/6$	[8]

Примечания. NOGSR1 и NOGSR2 – переопределенное и опубликованное в [1] решения информационно-обрабатывающего центра (ИОЦ) Северо-Осетинского филиала ФИЦ ЕГС РАН; OBGSR – сеть и ИОЦ в Обнинске, Центральное отделение ФИЦ ЕГС РАН (код MOS в ISC [8]); DAGSR – сеть и ИОЦ Дагестанского филиала ФИЦ ЕГС РАН; TIF – National Seismic Monitoring Center, Tbilisi, Georgia; IDC – International Data Centre, Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty (CTBTO), Austria; IASPEI – IASPEI (Международная ассоциация сейсмологии и физики недр Земли) Working Group on Reference Events; NEIC – National Earthquake Information Center, USA; ISC – International Seismological Center, UK; f – фиксированная глубина.

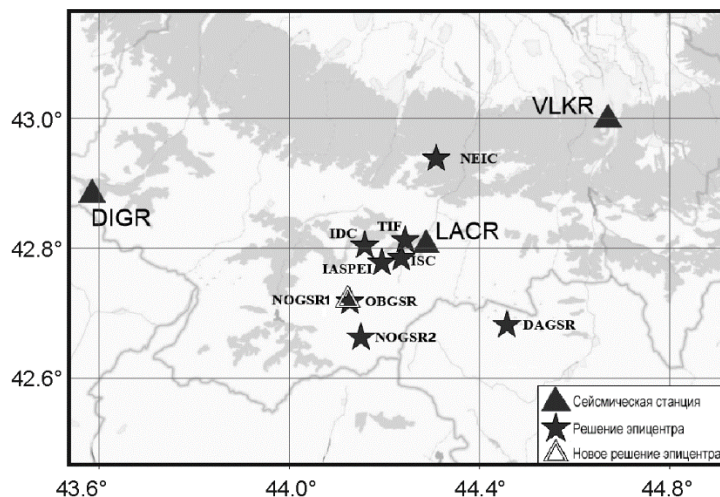


Рис. 1. Положение эпицентра Верхне-Фиагдонского землетрясения 26 января 2020 г. по данным разных сейсмических сетей и обрабатывающих центров

Для большинства агентств разброс в положении эпицентра Верхне-Фиагдонского землетрясения по широте не превышает $\varphi=0.094^\circ$. Наиболее близкими между собой оказались решения NOGSR1 (новое) и OBGSR, которые мы считаем наиболее надежными из-за близости регистрирующих станций. Существенные расхождения в положении эпицентра показали результаты агентств NEIC и DAGSR, их решения смещены относительно решений других обрабатывающих центров к северо-востоку и юго-востоку соответственно. Глубина гипоцентра оценивается большинством агентств в диапазоне 5.6–17 км, и лишь решение DAGSR сильно «отскакивает» от них – $h=54$ км. При дальнейшем анализе сейсмического процесса в очаге Верхне-Фиагдонского землетрясения мы используем новое решение NOGSR1.

За Верхне-Фиагдонским землетрясением не последовало заметного афтершокового процесса, однако просмотр недельной записи вертикальной компоненты ближайшей сейсмической станции «Лац» позволил выделить за основным толчком последовательность слабых сейсмических событий. После более тщательного анализа записи к событиям «возможно, афтершок» было отнесено 21 событие (рис. 2). Распределение их во времени изображено на рис. 3.

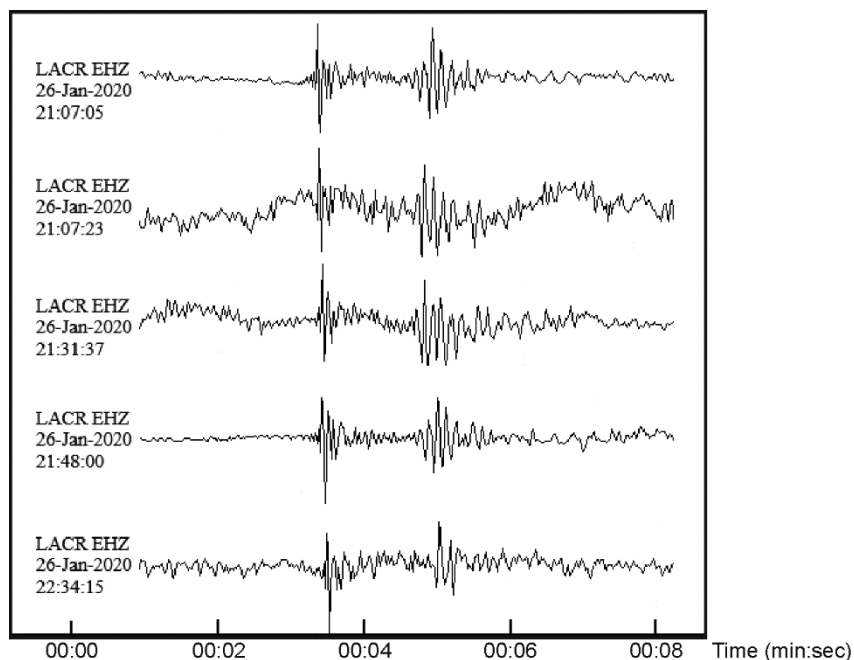


Рис. 2. Записи событий «возможно, афтершок»

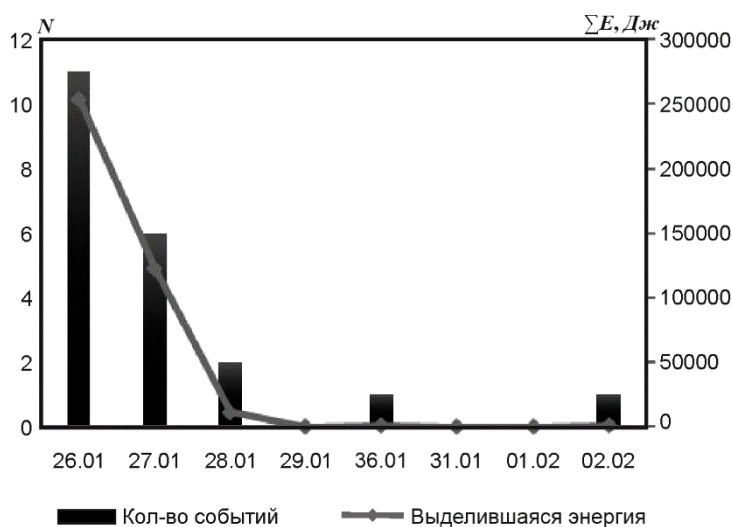


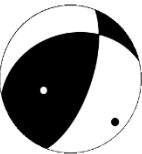
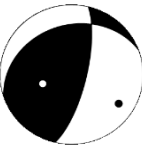
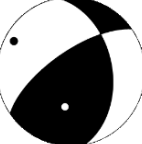
Рис. 3. Распределение во времени количества и энергии событий «возможно, афтершок»

Механизм очага Верхне-Фиагдонского землетрясения был построен по знакам первых вступлений продольных P -волн [9] на 28 станциях, удаленных на расстояния от 0.17° до 17.7° . Согласно полученному решению (NOGSR1 в табл. 2), землетрясение возникло под действием преобладающих сжимающих напряжений, ориентированных в юго-восточном направлении. Тип движения в очаге по крутой плоскости $NP1$ близмеридионального (северо-северо-западного) простирания с падением на восток–юго-восток соответствовал взбросу с компонентой левостороннего сдвига, по пологой плоскости $NP2$ запад–юго-западного простирания, падающей на северо-северо-запад, – правостороннему сдвигу с компонентой надвига. Выбрать действующую плоскость разрыва, исходя из тектонических данных, не представляется возможным, так как одна из плоскостей ($NP1$) согласуется по типу подвижки с кинематической характеристикой Адайком-

Казбекского разлома, в пределах которого реализовалось землетрясение [10], но не с его простираем, а простираем второй плоскости ($NP2$) близко к субширотной ориентации разлома.

В табл. 2 представлены результаты определения механизма очага по данным различных источников. Решение NOGSR1, рассчитанное в региональном центре NOGSR, хорошо согласуется с решением, полученным в OBGSR [11]. Опубликованное ранее в [1] решение NOGSR2, полученное в филиале по меньшему набору знаков первых вступлений, не противоречит по типу движения новым данным, несмотря на небольшие различия.

Таблица 2. Параметры механизма очага землетрясения 26.01.2020 г. по данным разных источников

Агент-ство	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Диаграмма	Источ-ник
	T		P		N		$NP1$			$NP2$				
	PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	$SLIP$	STK	DP	$SLIP$		
NOGSR1	57	248	16	133	29	34	20	67	58	257	39	140		
OBGSR	55	252	23	123	24	22	251	30	144	14	72	65		[11]
NOGSR2	50	190	14	298	36	39	235	69	129	349	44	32		[1]

Макросейсмические данные. Для сбора макросейсмических данных сотрудниками Северо-Осетинского филиала ФИЦ ЕГС РАН был осуществлен выезд в эпицентральною зону и близлежащие районы на территории республики. Также сведения о макросейсмических проявлениях из 14 населенных пунктов были собраны путем телефонного опроса.

С интенсивностью 4–5 баллов землетрясение проявилось в населенных пунктах Хидикус, Лац, Урикау, Верхний Фиагдон и Верхний Унал. Оно было замечено практически всеми жителями этих сел. Многие люди испытывали сильный испуг и покидали помещения, многие спящие просыпались. В домах сильно раскачивались висащие предметы, дребезжала посуда, скрипела и дрожала мебель, в некоторых случаях падали иконы, беспокоились домашние животные. При землетрясении был слышен грохотообразный гул, похожий на взрыв.

Интенсивность колебаний 4 балла была зафиксирована в населенных пунктах Дзивгис, Нар, Бурон и Верхний Цей. Здесь землетрясение ощутили многие люди, находящиеся в покое. В помещениях дрожала мебель, колебались свободно подвешенные предметы. Люди слышали сильный шум, как при грозе. Паники у людей не было.

В Тамиске и Кобане ощутимость землетрясения составила 3 балла. Люди, находившиеся в покое, испытывали плавное покачивание. В домах были заметны колебания висащих предметов, дребезжание посуды.

Интенсивность сотрясений в 2–3 балла зафиксирована в населенных пунктах Алагир, Суадаг и Чми. Люди ощущали плавное покачивание, в домах слегка покачивались люстры. В селе Чми у людей возникло ощущение, как будто Терек вышел из берегов (у тех, кто уже сталкивался с этим явлением).

2 балла отмечены в населенных пунктах Дзуарикау, Балта и Ногкау по единичным слабым ощущениям. Во Владикавказе и Ардоне землетрясение ощущалось на верхних этажах многоэтажных зданий.

Обобщенные результаты оценки интенсивности землетрясения приведены в табл. 3 и на рис. 4.

Таблица 3. Макросейсмические данные о землетрясении 26 января 2020 г.

№	Пункт	Δ*, км	Координаты	
			φ°, N	λ°, E
<u>4–5 балла</u>				
1	Хидикус	17	42.82	44.27
2	Лац	18	42.82	44.29
3	Урикау	18	42.83	44.29
4	В. Фиагдон	20	42.83	44.31
5	В. Унал	14	42.85	44.16
<u>4 балла</u>				
6	Дзивгис	23	42.88	44.31
7	Нар	9	42.68	44.02
8	Бурон	13	42.79	44.01
9	В. Цей	18	42.80	43.94
<u>3 балла</u>				
10	Тамиск	31	42.96	44.20
11	Кобан	36	42.92	44.48
<u>2–3 балла</u>				
12	Алагир	37	43.04	44.22

№	Пункт	Δ, км	Координаты	
			φ°, N	λ°, E
13	Суадаг	38	43.04	44.28
14	Чми	44	42.85	44.64
<u>2 балла</u>				
15	Дзуарикау	41	43.02	44.41
16	Балта	47	42.92	44.63
17	Ногкау	44	43.09	44.29
18	Ардон	53	43.18	44.30
19	Владикавказ	57	43.02	44.68
<u>не ощущалось</u>				
20	В. Саниба	48	43.01	44.56
21	Н. Саниба	49	43.04	44.54
22	Кадгарон	49	43.13	44.33
23	Гизель	51	43.04	44.57
24	Архонская	54	43.11	44.51
25	Фарн	60	43.18	44.50
26	Октябрьское	64	43.06	44.75

* Δ – расстояние от инструментального эпицентра NOGSR1 из табл. 1.

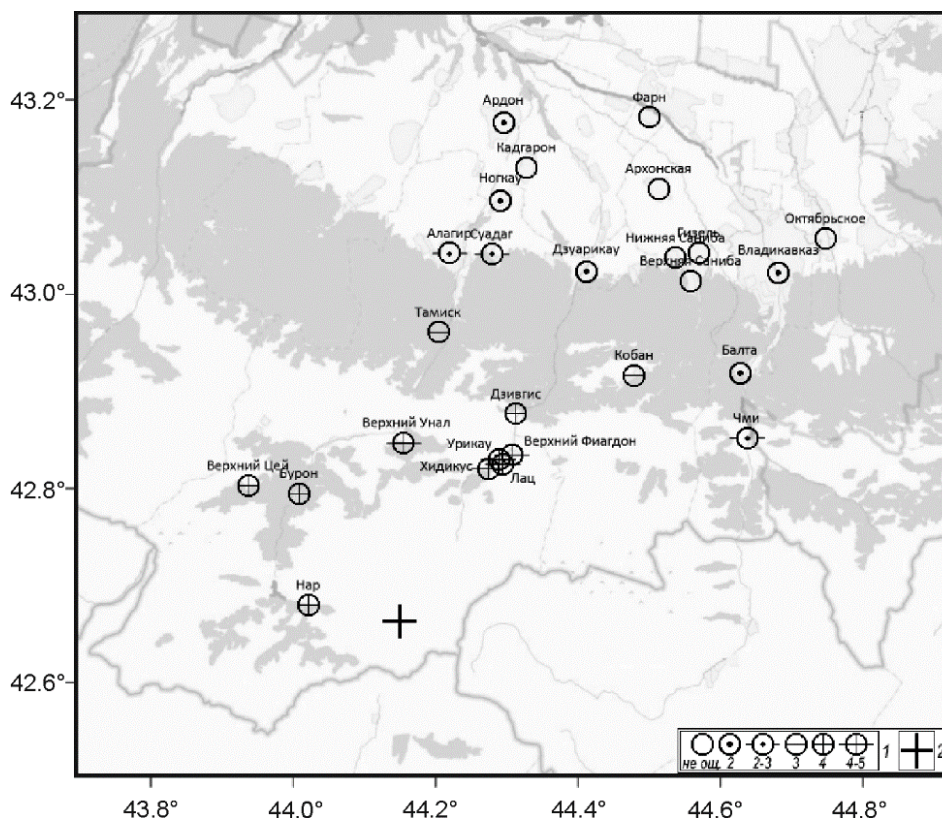


Рис. 4. Карта проявлений интенсивности сотрясений от землетрясения 26 января в населенных пунктах

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

Поскольку инструментальный эпицентр находился в труднодоступной местности в горах и ближайшие населенные пункты зимой не заселены или вовсе заброшены, интенсивность в эпицентре по макросейсмическим данным получить не удалось. Она рассчитана по формуле Блэйка-Шебалина [12]:

$$I_0 = b \cdot M - v \cdot \lg h + c \quad (1)$$

с коэффициентами для Северного Кавказа: $b=1.6$, $v=3.1$, $c=2.2$. Магнитуда получена из энергетического класса по формуле Т.Г. Раутиан [13]: $M=(K_p-4)/1.8$. По имеющимся инструментальным данным из табл. 1, расчетная интенсивность сотрясений в эпицентре составляет $I_0=5.23$ баллов при глубине $h=12.2$ км по региональным данным NOGSR, $I_0=4.6$ балла при глубине $h=17$ км по данным OBGRS. За окончательное значение расчетной интенсивности примем среднее значение $I_0=5$ баллов, что не противоречит наблюдаемым данным.

Тектоническая позиция очага и историческая сейсмичность. Очаг исследуемого землетрясения приурочен к Адайком-Казбекскому разлому, характеризующемуся смещением типа взбросо-надвиг [14].

По данным [15, 16] была рассмотрена история сейсмичности очаговой зоны Верхне-Фиагдонского землетрясения за последние 150 лет. Параметры ближайших по расстоянию к нему сильнейших и ощутимых землетрясений приведены в табл. 4. Из них ближе к исследуемой очаговой области расположены землетрясения 30.08.1905 г. с $M=4.4$ и $I_0=5-6$ баллов по данным [15] ($I_0=7-8$ баллов по данным [17]), 17.02.1917 г. с $M=4.2$ и $I_0=6$ баллов, 22.02.1917 г. с $M=4.5$ и $I_0=6-7$ баллов, 29.04.1991 г. с $M=4.8$ и 11.02.1994 г. с $M=3.8$.

Таблица 4. Основные параметры сильнейших исторических землетрясений в районе Верхне-Фиагдонского землетрясения

№	Дата	Время	Эпицентр		h , км	M	I_0 , баллы
			φ° , N	λ° , E			
1	13.03.1854	07:45 ± 10 мин	42.80 ± 0.5	44.00 ± 0.5	15 5–50	4.4 ± 0.7	5–6 ± 1
2	30.08.1905	23:54:16 ± 10 с	42.70 ± 0.2	44.00 ± 0.2	11 5–22	4.2 ± 0.5	6 ± 0.5
3	17.02.1917	23:49 ± 10 мин	42.7 ± 0.2	44.0 ± 0.2	(10) 3–30	4.2 ± 0.7	6 ± 1
4	22.02.1917	04:58:22 ± 10 с	42.7 ± 0.2	44.0 ± 0.2	9 4–18	4.5 ± 0.5	6–7 ± 1
5	09.05.1946	19:49:08 ± 5 с	42.7 ± 0.2	44.4 ± 0.2	20 13–30	4.8 ± 0.5	6 ± 0.5
6	06.11.1946	21:54:07 ± 5 с	42.6 ± 0.2	44.5 ± 0.2	16 8–32	3.9 ± 0.7	5 ± 1
7	29.04.1991	09:37	42.84	44.12	10	5.1	
8	29.04.1991	19:06	42.65	44.02	2	4.8	
9	11.02.1994	17:40	42.68	44.08	10	3.8	

Джейрахское землетрясение 24 мая 2020 г. с $K_p=10.6$.

Инструментальные данные. Параметры Джейрахского землетрясения авторами данной статьи также были переопределены с использованием данных большего количества региональных станций, что позволило улучшить окружение эпицентра. Всего в определении параметров гипоцентра были задействованы записи 35 станций (вместо 22 в [2]) на эпицентральных расстояниях от 24 до 301 км. Основные параметры исследуемого землетрясения, полученные в различных сейсмологических центрах, вместе с решениями регионального центра NOGSR, переопределенным (NOGSR1) и опубликованным в [2] (NOGSR2), приведены в табл. 5. На рис. 5 на фоне карты-схемы зон ВОЗ [18] показаны приведенные в таблице решения для эпицентра, кроме решения AFAD, которое находится за восточной границей карты.

Таблица 5. Основные параметры Джейрахского землетрясения 24 мая 2020 г. по данным различных центров

Агентство	t_0 ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источник
			φ° , N	$\delta\varphi$, км	λ° , E	$\delta\lambda$, км	h , км	δh , км		
NOGSR1	12 33 36.6		42.760	–	44.707	–	20	–	$K_p=10.6$, $MPVA=5$	Наст. статья
NOGSR2	12 33 36.5	–	42.76	–	44.700	–	11	–	$K_p=10.6$, $MPVA=5$	[2]
OBGRS	12 13 38.7	0.9	42.778	3	44.693	3	19	3	$K_p=10.7$, $MPVA=4.9$	[7]
DAGSR	12 33 37.5	–	42.91	–	44.737	–	30	–	$K_p=10.6$	[8]
TIF	12 33 38.1	–	42.787	–	44.723	–	15.9	0.5		[8]
IDC	12 33 34.8	0.78	42.807	12.5	44.608	7.7	0f	–	$mb=3.6/4$, $MS=3.0/3$, $ML=3.9/3$	[8]
AFAD	12 33 30.0	–	42.939	–	45.248	–	8	–	$ML=3.4$	[8]

Агентство	t_0 ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источник
			φ° , N	$\delta\varphi$, км	λ° , E	$\delta\lambda$, км	h , км	δh , км		
ISC	12 33 37.5	0.8	42.800	1.92	44.731	1.636	18.3	2.97	$m_b=3.5/4$	[8]

См примечания к табл. 1. AFAD – Disaster and Emergency Management Presidency.

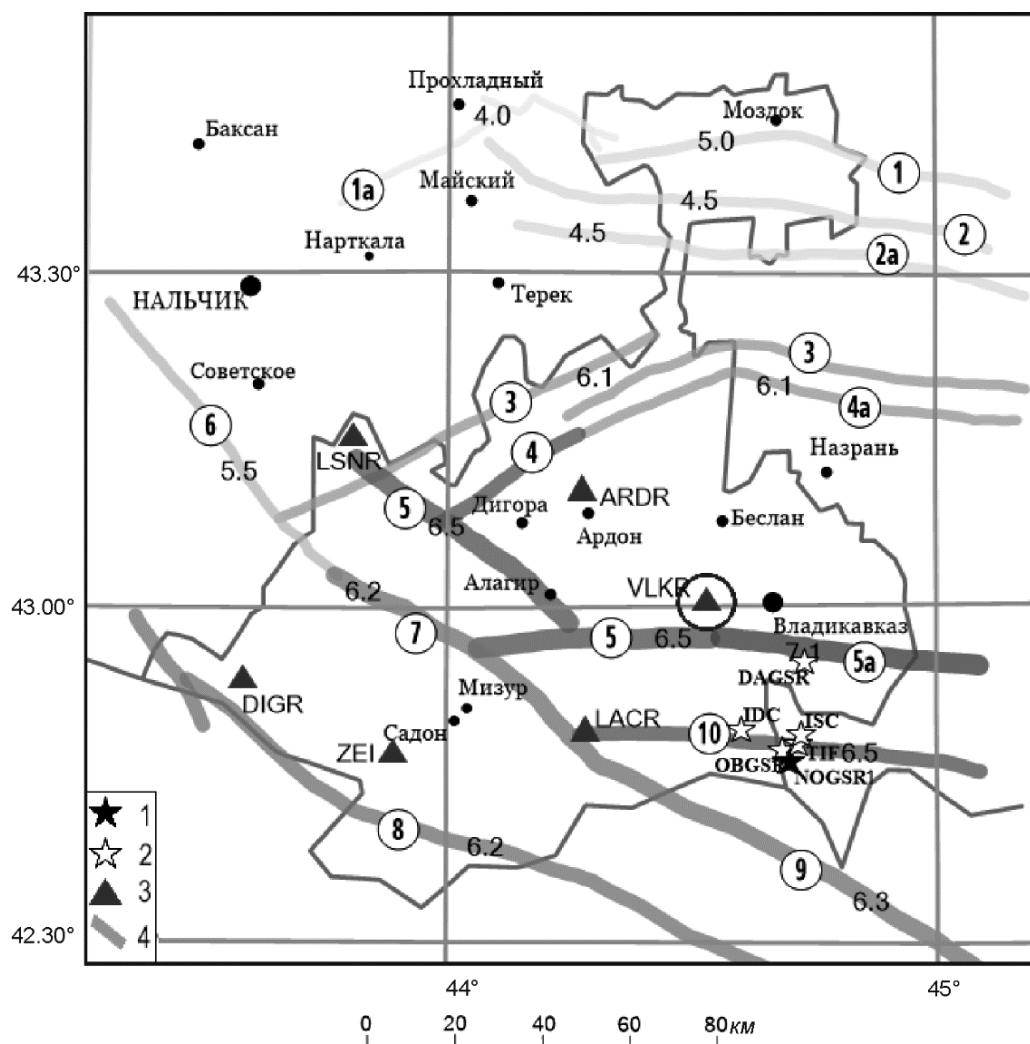


Рис. 5. Положение Джейрахского землетрясения 24 мая 2020 г. по данным разных сейсмических сетей и обрабатывающих центров на фоне карты-схемы зон ВОЗ [17]

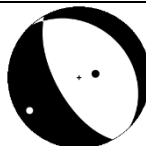
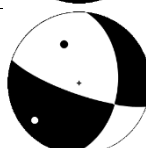
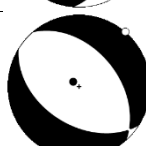
1 – переопределенный эпицентр (NOGRS1 в табл.1); 2 – эпицентры по данным различных агентств; 3 – сейсмостанция: LSNR – «Лескен», ARDR – «Ардон», DIGR – «Дигорское ущелье», ZEI – «Цей», LACR – «Лац», VLKR – станция и Центр сбора и обработки данных во Владикавказе; 4 – зона ВОЗ: 1 – Моздокская; 2, 2 а – Терская северная и южная соответственно; 3 – Сунженская северная; 4, 4 а – Сунженская южная, западная и восточная ветви; 5, 5 а – Владикавказская западная и восточная ветви соответственно; 6 – Нальчикская; 7 – Мизурская; 8 – зона Главного хребта; 9 – зона Бокового хребта; 10 – Кармадонская.

Как видно из табл. 5 и рис. 5, разброс параметров для большинства агентств незначителен: по широте $\Delta\varphi=0.04^\circ$, по долготе – $\Delta\lambda=0.038^\circ$. Глубина гипоцентра оценивается в диапазоне 11–20 км. Существенные расхождения в оценках координат эпицентра и глубины очага показали результаты определения параметров агентствами IDC, AFAD и DAGSR. Часть сейсмологических центров локализовали эпицентр землетрясения на территории Республики Ингушетия, вторая часть – на территории Республики Северная Осетия–Алания.

Механизм очага Джейрахского землетрясения был построен по знакам первых вступлений продольных P -волн [9] на 29 станциях, удаленных на расстояния от 0.17° до 18.1° . Решение регионального центра представлено в табл. 6 в сопоставлении с результатами определения механизма очага из [2] и [11].

Согласно решениям NOGSR и OBGRS, в очаге преобладали напряжения растяжения, ориентированные в юго-западном направлении. Тип подвижки для решений NOGSR – сброс по обеим плоскостям с незначительными компонентами сдвига, для решения OBGRS – сбросо-сдвиг. Все решения находятся в согласии друг с другом, но простирание нодальных плоскостей и тип движения нетипичны для субширотной Кармадонской зоны ВОЗ, в пределах которой реализовалось землетрясение.

Таблица 6. Параметры механизма очага землетрясения 24.05.2020 г. по данным разных источников

Агент-ство	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Диаграмма	Источ-ник
	Т		Р		N		NP1			NP2				
	PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP		
NOGSR1	18	236	71	77	6	328	151	63	-83	315	28	-104		
OBGSR	20	230	42	339	41	121	109	77	-133	5	44	-19		[11]
NOGSR2	0	40	81	310	8	130	319	45	-77	122	45	-102		[2]

Макросейсмические данные. Результаты оценки сейсмической интенсивности в обследованных населенных пунктах приводятся в табл. 7, а соответствующая карта ощутимости представлена на рис. 6.

Таблица 7. Макросейсмические данные о землетрясении 24 мая 2020 г.

№	Пункт	Δ*, км	Координаты	
			φ°, N	λ°, E
4 балла				
1	Верхний Ларс	5	42.77	44.63
2	Нижний Ларс	7	42.79	44.63
	3–4 балла			
3	Чми	12	42.85	44.63
3 балла				
4	Степанцминда	13	42.65	44.64
5	Балта	19	42.91	44.62
6	2-й Редант	23	42.96	44.65
2–3 балла				

№	Пункт	Δ, км	Координаты	
			φ°, N	λ°, E
7	Тарское	23	42.96	44.77
8	1-й Редант	24	42.97	44.66
2 балла				
9	Владикавказ	29	43.02	44.68
10	В. Фиагдон	34	42.83	44.30
11	Сунжа	35	43.06	44.81
12	Михайловское	38	43.10	44.63
не ощущалось				
13	Хидикус	36	42.82	44.27
14	Харисджин	38	42.81	44.25

* Δ – расстояние от инструментального эпицентра NOGSR1 из табл. 5.

С интенсивностью 4 балла землетрясение проявилось в населенных пунктах Верхний и Нижний Ларс и было замечено большинством из жителей этих сел. В домах заметно раскачивались висячие предметы, скрипели полы и дрожали окна. При землетрясении был слышен грохотообразный гул, похожий на взрыв.

Интенсивность колебаний 3–4 балла была зафиксирована в селении Чми. Здесь землетрясение ощутили многие люди, находящиеся в покое. В помещениях заметно раскачивались свободно подвешенные предметы. Колебания были схожи с сотрясениями от движения тяжелого грузовика. Был слышен подземный гул.

В населенных пунктах Степанцминда (Грузия), Балта и 2-й Редант ощутимость землетрясения составила 3 балла. Люди ощущали легкое дрожание на местности. В домах были заметны колебания висячих предметов.

Интенсивность сотрясений в 2–3 балла зафиксирована в населенных пунктах Тарское и 1-й Редант. Люди ощутили легкую вибрацию, в домах едва заметно покачивались люстры.

2 балла отмечены в населенных пунктах Владикавказ, Верхний Фиагдон, Сунжа и Михайловское по единичным слабым ощущениям людей.

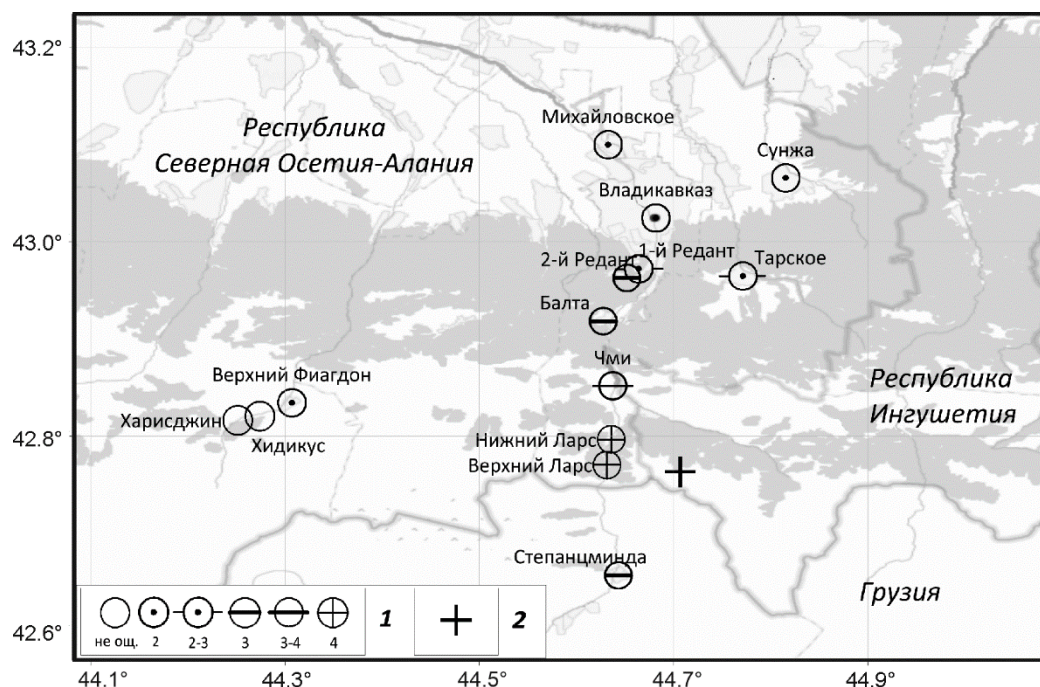


Рис. 6. Карта проявлений интенсивности сотрясений от землетрясения 24 мая в населенных пунктах

1 – интенсивность сотрясений в баллах по шкале MSK-64; 2 – эпицентр землетрясения по инструментальным данным, решение NOGSR1 из табл. 5.

Собранных макросейсмических данных, приведенных в табл. 7 и на рис. 6, 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 (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. 7 по данным NOGSR1 и OBGSR, а значения магнитуды для подстановки в эту формулу пересчитаем из K_p по формуле Т.Г. Раутиан [13]: $(M=(K_p-4)/1.8)$. В результате получим $I_0=3.93$ балла по данным NOGSR1 и $I_0=4.16$ балла по данным OBGSR. За окончательную расчетную интенсивность примем среднее значение $I_0=4$ балла, что не противоречит наблюдаемой интенсивности $I_1=4$ балла в двух ближайших населенных пунктах, расположенных на расстояниях $\Delta=6-7$ км от эпицентра.

Тектоническая позиция очага и историческая сейсмичность. Сеймотектоническая позиция очага землетрясения приходится на пересечение зоны Главного Кавказского надвига с частично погребенным сбросом антикавказской ориентировки [19] и приурочена к северо-восточной оконечности Казбекской очаговой зоны [20], возможно имеющей связь с потухшим вулканом Казбек. На поверхности рассматриваемая область представлена юрскими черносланцевыми породами с выходами неогеновых интрузий.

В заключение отметим, что исторически в очаговой зоне рассматриваемого землетрясения по данным каталогов [15, 16] известны 27 землетрясений с $M=3.8-5.4$. Наиболее заметными были землетрясения: Дарьяльское 14.01.1915 г. с $M=5.4$ и $I_0=7$ баллов с последующим афтершоком 21.01.1915 г. с $M=5.2$ и $I_0=6$ баллов, 06.04.1932 г. с $M=4.7$ и $I_0=6$ баллов, 02.09.1903 г. с $M=4$ и $I_0=6$ баллов вдоль Кармадонской зоны ВОЗ с $M_{max}=6.5$ [18].

Заключение. В 2020 г. в горных районах Северной Осетии–Алании и Ингушетии произошли два землетрясения, относящиеся к умеренным по энергетическому классу и ощутимости (не более 5 баллов) землетрясениям: Верхне-Фиагдонское 26 января с $K_p=11.2$ и Джейрахское 24 мая с $K_p=10.6$.

Установлено, что в очаге Верхне-Фиагдонского землетрясения произошел взброс с компонентой левостороннего сдвига по крутой плоскости $NP1$ близмеридионального простирания, или по плоскости $NP2$ юго-западного простирания – правосторонний сдвиг с компонентой взброса. Выбрать действующую плоскость разрыва, исходя из тектонических данных, не представляется возможным, так как одна из плоскостей ($NP1$) согласуется по типу подвижки с кинематической характеристикой Адайком-Казбекского разлома, в пределах которого реализовалось землетрясение, а простирание второй плоскости ($NP2$) приближено к субширотной ориентации разлома.

Согласно решению NOGSR, в очаге Джейрахского землетрясения преобладали напряжения растяжения, ориентированные в юго-западном направлении. Тип подвижки – сброс по обоим плоскостям с незначительными компонентами сдвига.

Комплексный анализ инструментальных и макросейсмических данных позволил определить интенсивность сотрясений в эпицентрах исследуемых землетрясений – $I_0=5$ баллов для Верхне-Фиагдонского и $I_0=4$ балла для Джейрахского, однако малое количество макросейсмических данных по обоим землетрясениям не позволило составить карты изосейст и определить положение макросейсмических эпицентров.

Л и т е р а т у р а

1. Дмитриева И.Ю., Саяпина А.А., Багаева С.С., Горожанцев С.В. Макросейсмические и инструментальные исследования Верхне-Фиагдонского землетрясения 26 января 2020 года // Геология и геофизика Юга России. – 2020 а. – № 10 (4). – С. 113–123. DOI: <https://doi.org/10.46698/VNC.2020.64.38.007>
2. Дмитриева И.Ю., Саяпина А.А., Багаева С.С., Горожанцев С.В. Землетрясение 24 мая 2020 года в Джейрахском районе Республики Ингушетия // Вестник Владикавказского научного центра. – 2020. – Т. 20, № 4. – С. 65–69. DOI: <https://doi.org/10.46698/o3499-8884-2835-g> EDN: PZVAPZ
3. 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.
4. Багаева С.С., Саяпина А.А., Горожанцев С.В. О современной сейсмичности Республики Северная Осетия–Алания по данным инструментальных наблюдений СОФ ФИЦ ЕГС РАН // Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии. – 2019. – С. 502–508.
5. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Международная шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
6. Краснопецева Г.В. Глубинное строение Кавказского сейсмоактивного региона. – М.: Наука, 1984. – 109 с.
7. Габсатарова И.П., Королецки Л.Н., Адилев З.А., Багаева С.С., Иванова Л.Е. Каталоги землетрясений по различным регионам России // Землетрясения России в 2020 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2022. – С. 120–124.
8. International Seismological Centre. (2024). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
9. 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.
10. Чотчаев Х.О., Заалишвили В.Б., Невский Л.Н., Шемпелев А.Г. Геоморфология как признак наследственности структурных особенностей земной коры // Геология и геофизика Юга России. – 2016. – Т. 6, № 1. – С. 141–158.
11. Габсатарова И.П., Гилёва Н.А., Малянова Л.С., Раевская А.А., Сафонов Д.А., Филиппова А.И. Механизмы очагов отдельных землетрясений России // Землетрясения России в 2020 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2022. – С. 184–192.
12. Кондорская Н.В., Шебалин Н.В. Новый каталог землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – 536 с.
13. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности. (Труды ИФЗ АН СССР; № 9 (176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
14. Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Лутиков А.И., Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Горбатиков А.В. Эндогенные опасности Большого Кавказа. – М.: ИФЗ РАН, 2014. – 256 с.
15. 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.

16. Годзиковская А.А. База данных «Каталог землетрясений Кавказа с $M \geq 4.0$ ($K \geq 11.0$) с древнейших времен по 2000 г.» [электронный ресурс]. – URL: <http://zeus.wdcb.ru/wdcb/sep/caucasus/>
17. Чартарян Э.А. Сейсмичность и хронология землетрясений юга Северо-Осетинской АССР // Сейсмологический бюллетень Кавказа, 1979 г. – Тбилиси: ИГ АН Грузии, 1982. – С. 227–245.
18. 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.
19. Трифонов В.Г., Соболева О.В., Трифонов Р.В., Востриков Г.А. Современная геодинамика Альпийско-Гималайского коллизионного пояса. – М.: Геос, 2002. – 224 с.
20. Багаева С.С., Саяпина А.А., Дмитриева И.Ю., Гричуха К.В., Горожанцев С.В. О распределении гипоцентров землетрясений в очаговых зонах центральной части Северного Кавказа в 2018 г. // Вестник Пермского университета. Геология. – 2019. – Т. 18, № 2. – С. 231–236.

***EARTHQUAKES FELT in the NORTH CAUCASUS in 2020: VERKHNE-FIAGDON
EARTHQUAKE on JANUARY 26, 2020 with $K_R=11.2$, $I_0=5$ and JEYRAKH EARTHQUAKE
on MAY 24, 2020 with $K_R=10.6$, $I_0=4$***

I.Yu. Dmitrieva, S.S. Bagaeva, A.A. Sayapina,

*North Osetija Branch of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences,
Vladikavkaz, Russia, sofgras@gmail.com*

Abstract. In 2020, two significant earthquakes were registered in the south of the Republics of North Ossetia-Alania and Ingushetia: on January 26 with $K_R=11.2$ and on May 24 with $K_R=10.6$. The earthquakes occurred in different seismotectonic conditions. The source of the first event was formed within the Adaykom-Kazbek fault, and the source of the second event – within the Karmadon zone of occurrence of earthquake sources. The January 26 earthquake, named the Verkhne-Fiagdon, became the strongest instrumentally recorded earthquake in North Ossetia since the beginning of seismological observations on this territory. It was felt in 19 settlements with the intensity from 2 to 4–5. The calculated intensity in the epicenter is estimated as $I_0=5$. According to the focal mechanism solution, the Verkhne-Fiagdon earthquake occurred under the influence of prevailing compressive stress. The type of movement in the focus is reverse fault with significant strike-slip component. The earthquake on May 24, named the Jeyrakh earthquake, was felt in 12 settlements with intensity from 2 to 4. Tensile stresses oriented in a south-west direction prevailed in the focus. The type of movement is a normal fault on both planes, with minor strike-slip components. Information on historical seismicity in the focal zones of both earthquakes is given for the last 150 years.

Keywords: North Caucasus, earthquake, macroseismic and instrumental data, tectonics, history of seismicity.

For citation: Dmitrieva, I.Yu., Bagaeva, S.S., & Sayapina, A.A. (2024). [Earthquakes felt in the North Caucasus in 2020: Verkhne-Fiagdon earthquake on January 26, 2020 with $K_R=11.2$, $I_0=5$ and Jeyrakh earthquake on May 24, 2020 with $K_R=10.6$, $I_0=4$]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 27(2020), 265–276. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.24> EDN: QNHDOA

R e f e r e n c e s

1. Dmitrieva, I.Yu., Sayapina, A.A., Bagaeva, S.S., & Gorozhantsev, S.V. (2020). [Macroseismic and instrumental studies of the Verkhniy Fiagdon earthquake on January 26, 2020]. *Geologiya i geofizika Yuga Rossii* [Geology and Geophysics of Russian South], 10(4), 113–123. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.46698/VNC.2020.64.38.007> EDN: OOWLGU
2. Dmitrieva, I.Yu., Sayapina, A.A., Bagaeva, S.S., & Gorozhantsev, S.V. (2020). [The earthquake in Dzheyrakh region of the Republic of Ingushetia on May 24, 2020]. *Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo tsentra* [Vestnik of Vladikavkaz Scientific Centre], 20(4), 65–69. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.46698/o3499-8884-2835-r> EDN: PZVAPZ.
3. 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.).

4. Bagaeva, S.S., Sayapina, A.A., & Gorozhantsev, S.V. (2019). [On the modern seismicity of the Republic of North Ossetia-Alania according to instrumental observations of the North Osetija Branch of the Geophysical Survey of Russian Academy of Sciences]. *Opasnye prirodnye i tehnogennye processy v gornyh regionah: modeli, sistemy,ologii* [Dangerous natural and technogenic processes in mountainous regions: models, systems, technologies], 502–508. (In Russ.).
5. 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.).
6. 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.).
7. Gabsatarova, I.P., Koroletski, L.N., Adilov, Z.M., Bagaeva, S.S., & Ivanova, L.E. [Catalogs of earthquakes for various regions of Russia]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2020 godu* [Earthquakes in Russia, 2020] (pp. 184–192). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
8. International Seismological Centre. (2024). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
9. 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.).
10. Chotchaev, Kh.O., Zaalishvili, V.B., Nevskiy, L.N., & Shempelev, A.G. (2016). [Geomorphology as the heredity sign of the structural features of the earth's crust]. *Geologiya i geofizika Iuga Rossii* [Geology and Geophysics of Russian South], 6(1), 141–158. (In Russ.).
11. Gabsatarova, I.P., Gileva, N.A., Malyanova, L.S., Raevskaya, A.A., Safonov, D.A., & Filippova, A.I. (2022). [Focal mechanisms of individual earthquakes in Russia]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2020 godu* [Earthquakes in Russia, 2020] (pp. 184–192). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
12. 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.).
13. 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.).
14. Rogozhin, E.A., Ovsyuchenko, A.N., Lutikov, A.I., Sobisevich, A.L., Sobisevich, L.E., & Gorbatikov, A.V. (2014). *Endogennye opasnosti Bol'shogo Kavkaza* [Endogenous hazards of the Greater Caucasus]. Moscow, Russia: IPE RAS Publ., 256 p. (In Russ.).
15. 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.).
16. Godzikovskaya, A.A. (2001). *Baza dannykh «Katalog zemletryasenij Kavkaza s $M \geq 4.0$ ($K \geq 11.0$) s drevnejshih vremen po 2000 g.» (elektronnyj resurs)* [Database "Catalog of earthquakes of the Caucasus from $M \geq 4.0$ ($K \geq 11.0$) from ancient times to 2000" (electronic resource)]. Retrieved from <http://zeus.wdcb.ru/wdcb/sep/caucasus/>
17. Chartaryan, E.A. (1982). [Seismicity and chronology of earthquakes in the south of the North Ossetian Autonomous Soviet Socialist Republic]. In *Seysmicheskii byulleten' Kavkaza 1979 g.* [Seismic Bulletin of the Caucasus 1979] (pp. 227–245). Tbilisi, Georgia: IG AN Publ. (In Russ.).
18. 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" "Seysmichnost Severnoy Evrazii"* [Materials of International Conference "Seismicity of Northern Eurasia"] (pp. 243–249). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
19. Trifonov, V.G., Soboleva, O.V., Trifonov, R.V., & Vostrikov, G.A. (2002). [Modern geodynamics of the Alpine-Himalayan collision belt]. Moscow, Russia: Geos Publ., 224 p. (In Russ.).
20. Bagayeva, S.S., Sayapina, A.A., Dmitriyeva, I.Yu., Gorozhantsev, S.V., & Grichukha, K.V. (2019). [On the distribution of earthquake hypocenters in the source zones of the central part of the North Caucasus in 2018 according to the SOF GS RAS]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya* [Bulletin of the Perm University. Geology], 18(3), 231–236. (In Russ.).