

УДК 550.34

Результаты сейсмологических наблюдений на территории Республики Северная Осетия–Алания и в прилегающих районах в 2020 году

© 2021 г. А.А. Саяпина¹, С.С. Багаева¹, И.Ю. Дмитриева¹, С.В. Горожанцев^{2,1}

¹СОФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ, Россия; ²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия

Поступила в редакцию 19.02.2021 г.

Аннотация. Основная нагрузка при осуществлении непрерывного сейсмологического мониторинга центральной части Северо-Кавказского региона лежит на Северо-Осетинском филиале Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (СОФ ФИЦ ЕГС РАН). Сейсмологическая сеть филиала включает 12 пунктов наблюдений, расположенных на территории Республики Северная Осетия–Алания. В работе приводятся основные сведения об аппаратуре и местах установки сейсмических станций, отмечаются регистрационные возможности сети. На фоне общей характеристики сейсмичности и вызывающих её причин в пределах границ административных единиц центральной части Северного Кавказа приводятся: количество зарегистрированных в 2020 г. сейсмических событий; распределение выделившейся сейсмической энергии по месяцам; глубины произошедших сейсмических событий. Дано сравнение энергетического показателя сейсмичности с предыдущим годом, рассчитан и построен график повторяемости, свидетельствующий об уровне надёжности регистрации событий. Анализ распределения очагов землетрясений с привязкой к геотектоническим структурам представлен на карте эпицентров зарегистрированных сейсмических событий с указанием распределения на фоне очаговых зон. Выявлены и описаны роевые последовательности сейсмических событий, проявившихся на территориях Республики Северная Осетия–Алания и Республики Кабардино-Балкария, а также в Ставропольском крае. Для трёх наиболее сильных землетрясений определены механизмы очагов и приведены их стереограммы. По произошедшим ощутимым землетрясениям проведены макросейсмические обследования, включающие выезд в места их проявления и обработку сведений, поступивших от населения на сайт СОФ ФИЦ ЕГС РАН. Полученные результаты позволяют более эффективно изучать изменения сейсмического режима рассматриваемой территории.

Ключевые слова: землетрясение, Северный Кавказ, сейсмологическая сеть, механизм очага, взброс, энергия, график повторяемости, интенсивность.

Для цитирования: Саяпина А.А., Багаева С.С., Дмитриева И.Ю., Горожанцев С.В. Результаты сейсмологических наблюдений на территории Республики Северная Осетия–Алания и в прилегающих районах в 2020 году // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т. 3, № 2. – С. 86–95. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.2.05>

Введение

Северный Кавказ – наиболее сейсмоактивный регион европейской части России. Большая часть его относится к Альпийско-Гималайскому коллизионному поясу, характеризующемуся активной новейшей тектоникой. Этот сложный с геодинамической точки зрения регион традиционно рассматривается как результат взаимодействия двух крупных литосферных плит – Евразийской и Аравийской [Миллюков и др., 2015]. По оценкам сейсмической опасности и картам общего сейсмического районирования

ОСР-2015, значительная часть Северного Кавказа относится к 8- и 9-балльным зонам. Целью настоящей работы является представление результатов анализа сейсмических наблюдений за 2020 г. в Республике Северная Осетия–Алания и прилегающих территориях Центральной части Северного Кавказа, а также Южной Осетии и приграничной полосы Грузии, выполненных на основе системы сейсмологического мониторинга СОФ ФИЦ ЕГС РАН. Проведённые исследования направлены на получение новых знаний в области сейсмологии и геофизики, а также имеют целью улучшение

состояния защищённости от угроз сейсмического характера инфраструктурных объектов, объектов жизнеобеспечения и повышение уровня безопасности жизни населения [Багаева и др., 2019].

Краткие сведения об аппаратуре и методике наблюдений

Сеть сейсмологических наблюдений СОФ ФИЦ ЕГС РАН включает 12 цифровых сейсмических станций (табл. 1), оборудованных системами бесперебойного питания, компьютерами сбора информации, имеющими беспровод-

ное или проводное подключение к сети интернет для передачи данных в региональный информационно-обрабатывающий центр в г. Владикавказе [Саяпина и др., 2019]. Места для размещения стационарных пунктов наблюдений выбирались с учётом различных геологических и геофизических факторов, а также зафиксированных, в основном, в прошлом столетии, землетрясений (рис. 1).

При необходимости для уточнения параметров гипоцентров землетрясений в обработке дополнительно привлекаются данные 11 станций (на территории Чеченской Республики –

Таблица 1. Сведения о сейсмических станциях СОФ ФИЦ ЕГС РАН

№	Сейсмическая станция		Координаты и высота над уровнем моря			Тип оборудования
	название	код	φ, °N	λ, °E	h, м	
1	Ардон	ARNR	43.180	44.284	420	СМ-3КВ+ UGRA
2	Батакоюрт	BTKR	43.372	44.542	595	СМ-3КВ+SDAS
3	Владикавказ	VLKR	43.047	44.677	680	СМ-3ОС+UGRA
4	Дигорское ущелье	DIGR	42.899	43.581	1903	Trillium Compact120-SV1+ Centaur
5	Комгарон	KMGR	43.057	44.866	739	СМ-3КВ+SDAS
6	Кора	KORR	43.086	44.068	618	СМ-3КВ+UGRA
7	Лац	LACR	42.827	44.296	1276	СМ-3КВ+UGRA
8	Лескен	LSNR	43.268	43.804	721	СМ-3КВ+UGRA
9	Майрамадаг	MRMR	43.014	44.477	632	СМ-3КВ+SDAS
10	Притеречная	PRTR	43.752	44.282	136	СМ-3КВ+SDAS
11	Ставд-Дурт	STDR	43.369	44.063	352	СМ-3КВ+UGRA
12	Терская	TRKR	43.723	44.732	140	СМ-3КВ+SDAS

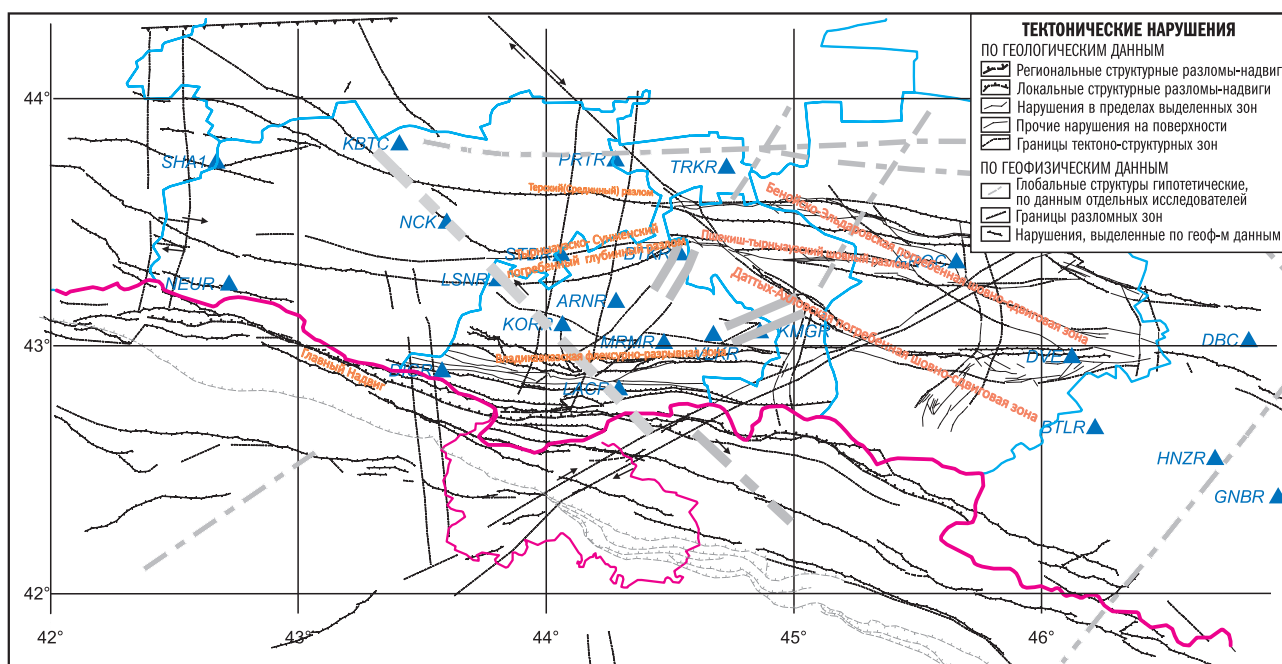


Рис. 1. Карта-схема основных тектонических элементов контролируемой территории, и расположение сейсмических станций

GROC, DVE; Кабардино-Балкарии – NEUR, NCK, KBTC; Дагестана – BTLR, GNBR, DBC, HNZR, DRN; Карачаево-Черкесии – SHA1).

Сеть наблюдений позволяет без пропусков регистрировать землетрясения на территории Республики Северная Осетия–Алания (PCO-A) с $K_p \geq 4$, Республики Ингушетия и частично Республики Кабардино-Балкария (КБР) с $K_p \geq 6$, Чеченской Республики с $K_p \geq 7$, Карачаево-Черкесской Республики (КЧР), Республики Дагестан, юга Ставропольского края и приграничных зон Южной Осетии и Грузии с $K_p \geq 8$ [Погода и др., 2013; Саяпина и др., 2018].

Для определения основных параметров землетрясений применяется стандартная методика стационарной обработки цифровых записей, реализованная в программно-вычислительном комплексе WSG [Акимов, Красилов, 2020; Красилов и др., 2006]. Для локации и получения параметров гипоцентров применяется программа hуро71 [Lee, Valdes, 1985] и четыре скоростных разреза [Габсатарова, 2011] для различных зон центральной части Кавказского региона [Габсатарова и др., 2008]. Для расчёта механизмов очагов используется программа FA [Ландер, 2006; Ландер, 2018].

Характеристика сейсмичности территории и результаты исследований

В 2020 г. в пределах границ ответственности СОФ ФИЦ ЕГС РАН ($\varphi=42.00-44.50^\circ\text{N}$, $\lambda=42.00-46.50^\circ\text{E}$) зарегистрировано 968 сейсмических событий с $K_p=3.9-12.4$ и 138 – за её пределами. Для контролируемой зоны мониторинга значение уровня надёжной регистрации землетрясений в 2020 г. осталось неизменным по сравнению с таковым за прошлые годы и равно $K_p=7$, что хорошо подтверждается графиком повторяемости (рис. 2).

Уравнение графика повторяемости, рассчитанное для его линейной части, имеет вид: $\lg N=5.68-0.45 \cdot K_p$, т.е. наклон графика равен $\gamma=-0.45$, что достаточно близко к среднему значению $\gamma=-0.48$ для Кавказа.

Выделившаяся суммарная сейсмическая энергия на контролируемой территории в 2020 г. составила $\Sigma E=2.697 \cdot 10^{12} \text{ Дж}$, что в 4 раза выше уровня энергии, выделившейся в 2019 г. ($\Sigma E=5.983 \cdot 10^{11} \text{ Дж}$). Распределение землетрясений и выделившейся сейсмической энергии показано на рис. 3. Как видно, максимум выделившейся сейсмической энергии приходится на декабрь 2020 г., что обусловлено сильным землетрясением, произошедшим 12 декабря с $K_p=12.4$ на территории Чеченской Республики. Повыше-

ние уровня выделившейся сейсмической энергии в январе и мае связано с ощутимыми землетрясениями, произошедшими на территориях Республики Северная Осетия–Алания и Республики Ингушетия 26 января и 24 мая соответственно.

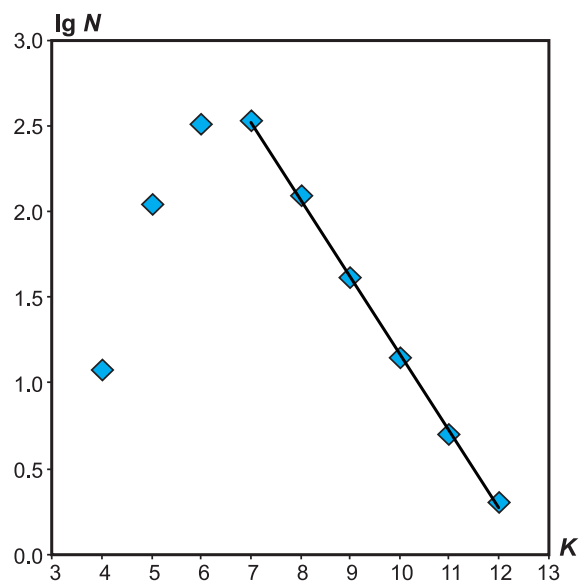


Рис. 2. График повторяемости землетрясений центральной части Северного Кавказа в 2020

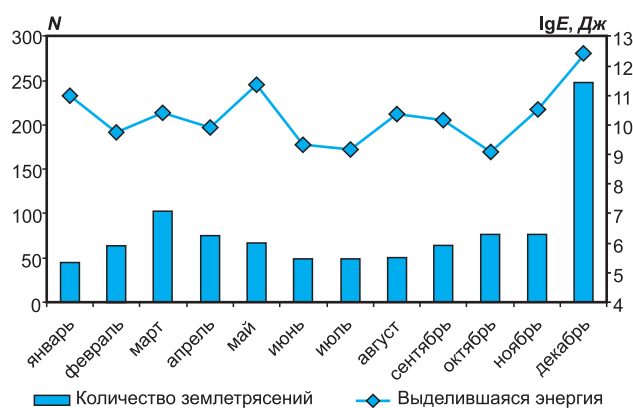
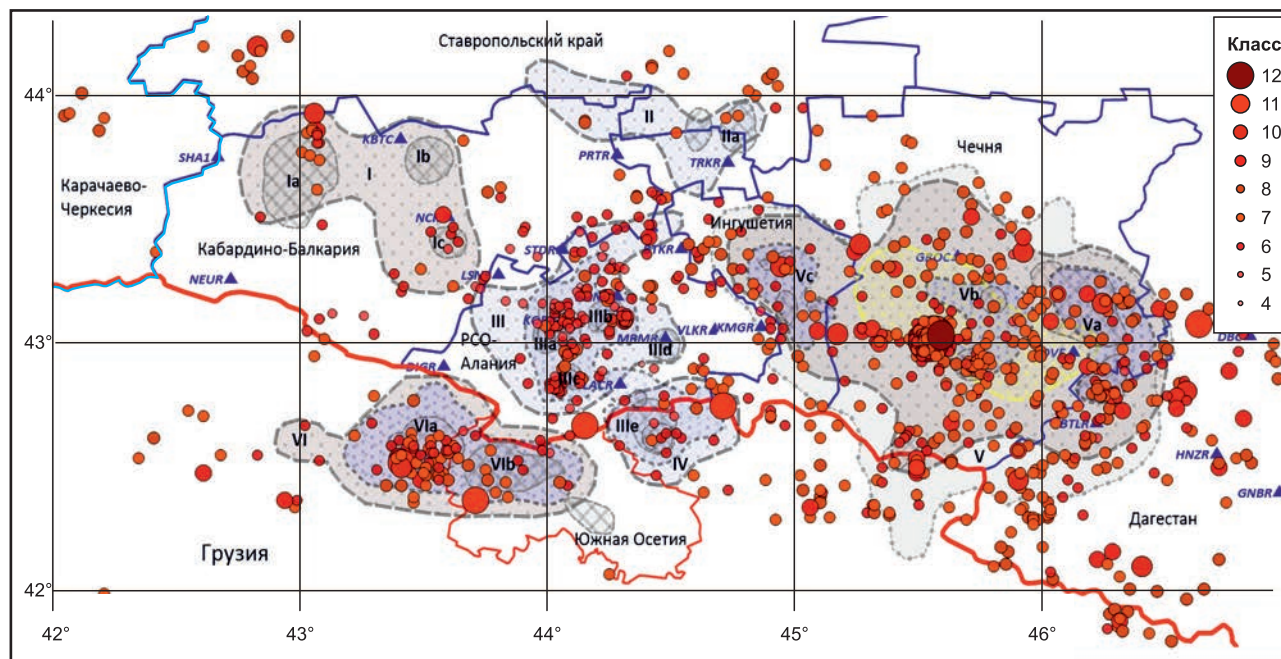


Рис. 3. Распределение числа землетрясений и выделившейся энергии по месяцам

Большинство гипоцентров зарегистрированных землетрясений залегает на глубинах $h \leq 20 \text{ км}$. Как и в прошлые годы, наблюдается пространственное распределение землетрясений с глубиной залегания гипоцентров $70 \leq h \leq 120 \text{ км}$, относящихся к Грозненской сейсмоактивной зоне.

Карта эпицентров всех зарегистрированных землетрясений на фоне очаговых зон [Погода и др., 2015] изображена на рис. 4. Основная масса очагов землетрясений определена на территориях Чеченской Республики и Грузии в очаговой зоне Рача-Джавского землетрясения.



Очаговые зоны и узлы

Выделенные по фоновой сейсмичности 1993–2020 г.

- Очаговые зоны с энергетическим потенциалом менее 8
- Очаговые зоны с энергетическим потенциалом более 8
- Предполагаемая граница связанных очаговых узлов и зон

Выделенные по трёхмерным моделям 1993–2020 г.

- Проекция очаговых зон на поверхность
- Проекция очаговых узлов на поверхность
- Эпицентры очаговых узлов
- Очаговых узлов, выделенные вне очаговых зон
- Зона гипоцентров более 70 км

Рис. 4. Распределение эпицентров землетрясений на территории центральной части Северного Кавказа на фоне очаговых зон в 2020 г.

Очаговые зоны: I – Кисловодск-Нальчикская (Ia – Пятигорский, Ib – Баксанский, Ic – Нальчикский узлы); II – Моздокско-Терская (IIa – Моздокский узел); III – Северо-Осетинская (IIIa – Коринский, IIIb – Ардонский, IIIc – Гусойтинский, IIId – Майрамадагский, IIIe – Джимаринский узлы); IV – Казбегская; V – Грозненская (Va – Курчалойский, Vb – Грозненский, Vc – Ассиновский узлы); VI – Они-Цхинвальская (VIa – Онийский, VIb – Джавский узлы)

В 2020 г. в *Северной Осетии* зарегистрировано 186 землетрясений с $K_p=3.9-11.2$, что в два раза больше, чем в предыдущем году. Стоит отметить, что из них 176 сейсмических событий слабые – с $K_p=4-7$. Подавляющая часть эпицентров лоцирована в Северо-Осетинской очаговой зоне, в которую входят узлы (основные скопления очагов землетрясений) Ардонский, Коринский и Гусойтинский, имеющие вероятную связь с пересечением Ардонского погребённого сброса антикавказского заложения с Владикавказской флексурно-разрывной зоной. С узлами связаны три роя землетрясений, произошедших в весенний период.

Первый рой из десяти землетрясений зафиксирован 14–19 марта (табл. 2). Он начался максимальным ($K_p=9$) толчком и проявился с интенсивностью 2 балла в селении Ногкау (2 км). Примечательно, что девять из десяти событий этой активизации произошли в первый день с 04^h10^m

по 07^h39^m. Рассматриваемый рой приурочен к Ардонскому узлу.

Второй рой, наиболее продолжительный по времени и самый представительный по числу событий, проявился 24–28 марта серией из 28 землетрясений (табл. 2) в 5 км южнее селения Мизур. Рой приурочен к Гусойтинскому узлу.

В 3.5 км от селения Карман-Синдзикау 3 апреля с 01^h42^m по 20^h00^m реализовался 18 землетрясениями третий рой (табл. 2), тектонически связанный с Коринским узлом.

В конце года, 5 декабря, вблизи посёлка Ставд-Дурта, в приграничной полосе с Кабардино-Балкарией зафиксирован ещё один рой сейсмических событий, большая часть гипоцентров которых не локализована (57), так как записана только одной ближайшей станцией (5 км) STDR, и лишь для восьми землетрясений удалось определить параметры (табл. 2). Область сейсмической активности приурочена к северо-западной

Таблица 2. Список роёв землетрясений, произошедших на территории РСО—А

№	Дата, дд.мм	t_0 , чч:мм:сс	Эпицентр		h , км	K_p	№	Дата, дд.мм	t_0 , чч:мм:сс	Эпицентр		h , км	K_p
			φ , °N	λ , °E						φ , °N	λ , °E		
Первый рой													
1	14.03	04:10:31	43.08	44.31	10	9.0	6	14.03	05:38:31	43.07	44.31	9	5.7
2	14.03	04:14:40	43.08	44.31	10	8.1	7	14.03	07:31:50	43.08	44.31	9	5.8
3	14.03	04:14:40	43.09	44.33	9	5.3	8	14.03	07:32:17	43.08	44.32	18	6.6
4	14.03	04:15:14	43.08	44.32	16	6.9	9	14.03	07:39:16	43.08	44.31	9	5.6
5	14.03	04:30:20	43.80	44.32	9	5.6	10	19.03	02:49:46	43.12	44.30	12	5.2
Второй рой													
1	24.03	17:10:14	42.82	44.04	2	5.8	15	26.03	01:24:42	42.84	44.03	5	4.6
2	24.03	18:03:22	42.82	44.03	1	5.3	16	26.03	18:27:53	42.81	44.03	2	4.9
3	24.03	18:30:05	42.83	44.04	5	5.3	17	26.03	20:56:55	42.81	44.03	12	7.1
4	24.03	18:30:58	42.83	44.04	1	5.4	18	26.03	20:59:13	42.81	44.03	10	4.8
5	24.03	18:33:59	42.85	44.05	10	4.6	19	27.03	00:16:48	42.83	44.02	8	7.1
6	24.03	18:57:13	42.84	44.03	2	4.5	20	27.03	03:00:57	42.83	44.02	5	5.0
7	24.03	20:52:23	42.83	44.02	5	4.8	21	27.03	05:23:49	42.84	44.04	9	4.8
8	24.03	21:22:07	42.83	44.03	2	4.2	22	27.03	07:00:33	42.81	44.04	12	6.2
9	25.03	00:23:39	42.83	44.04	1	4.7	23	27.03	13:12:15	42.82	44.03	4	6.3
10	25.03	15:29:59	42.80	44.06	5	5.1	24	27.03	15:20:03	42.83	44.02	5	5.0
11	25.03	19:38:40	42.81	44.05	18	5.4	25	27.03	16:56:13	42.83	44.01	15	6.4
12	25.03	21:58:04	42.82	44.03	2	5.1	26	27.03	17:05:26	42.82	44.01	5	4.5
13	25.03	21:59:08	42.82	44.04	13	5.6	27	27.03	21:22:35	42.81	44.03	15	6.1
14	25.03	21:59:10	42.80	44.05	2	5.5	28	28.03	04:55:40	42.83	44.03	13	5.7
Третий рой													
1	03.04	01:42:48	43.08	44.13	12	4.7	10	03.04	15:07:04	43.03	44.01	4	4.9
2	03.04	12:11:18	43.06	44.01	2	5.1	11	03.04	15:08:13	43.06	44.00	4	5.4
3	03.04	14:20:00	43.11	44.03	10	6.2	12	03.04	15:12:44	43.06	44.04	8	6.4
4	03.04	14:27:09	43.06	44.04	9	6.6	13	03.04	15:13:45	43.10	44.08	8	5.4
5	03.04	14:32:06	43.06	44.01	4	5.6	14	03.04	15:36:26	43.09	44.09	8	5.8
6	03.04	14:40:05	43.06	43.99	6	5.3	15	03.04	16:01:39	43.06	44.03	8	5.6
7	03.04	14:45:16	43.09	44.07	8	7.5	16	03.04	18:56:41	43.08	44.06	9	5.4
8	03.04	14:53:27	43.04	44.01	7	5.5	17	03.04	20:00:13	43.13	44.04	9	4.5
9	03.04	14:54:17	43.06	44.01	6	5.2	18	03.04	20:00:25	43.07	44.08	8	6.3
Четвёртый рой													
1	04.12	23:59:29	43.32	44.25	9	3.9	5	05.12	04:19:21	43.36	44.13	13	6.1
2	05.12	03:59:00	43.34	44.11	11	6.5	6	05.12	04:21:28	43.42	44.17	13	6.1
3	05.12	04:06:10	43.35	44.11	14	6.0	7	05.12	05:14:10	43.49	44.11	12	5.7
4	05.12	04:18:23	43.44	44.13	14	5.3	8	05.12	08:03:01	43.38	44.23	10	5.3

границе Северо-Осетинской очаговой зоны, вытянутой вдоль Пшекиш-Тырныузского шовного разлома, который очевидно и является причиной сейсмичности в данном районе.

Самое значительное ощутимое землетрясение на территории Северной Осетии произошло 26 января 2020 г. в 21^h01^m с $K_p=11.2$. Очаг землетрясения находился в пределах Северо-Осетинской очаговой зоны, в сеймотектоническом блоке, расположенном между Тибским и Адайком-Казбекским разломами. По знакам пер-

вых вступлений продольных P -волн на 20 станциях рассчитан механизм очага землетрясения (рис. 5а). Согласно полученному решению, очаг землетрясения возник в верхней части земной коры под действием сжимающих напряжений, ориентированных в запад—северо-западном направлении. Тип подвижки в очаге соответствовал взбросу с правосторонним сдвигом по плоскости $NP1$, простирающейся с юго-запада на северо-восток, и левостороннему сдвигу с взбросовой компонентой по плоскости $NP2$

близмеридионального простирания. Землетрясение, получившее название Верхне-Фиагдонское, характеризуется отсутствием заметного афтершокового процесса, однако анализ недельной записи вертикальной компоненты ближайшей сейсмической станции LACR позволил выделить последовательность слабых сейсмических событий. При ближайшем рассмотрении записи 21 событие было отнесено к событиям «возможно афтершок» [Дмитриева и др., 2020].

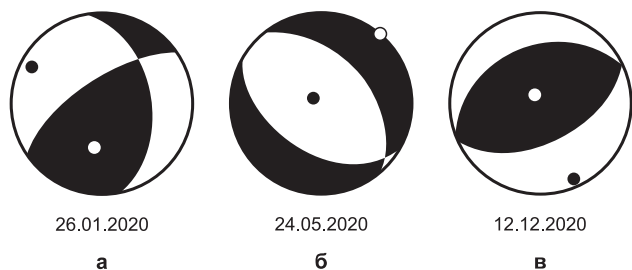


Рис. 5. Стереограммы механизмов очагов трёх землетрясений:

а – 26 января с $K_p=11.2$;

б – 24 мая с $K_p=10.7$; в – 12 декабря с $K_p=12.4$

Макросейсмический эффект землетрясения был исследован сотрудниками Северо-Осетинского филиала ФИЦ ЕГС РАН в 25 населённых пунктах. Согласно результатам опроса, максимальная интенсивность сотрясений составила 4–5 балла.

На территории *Ингушетии* зарегистрировано 43 землетрясения в пределах энергетических классов $K_p=5.3–10.7$. Самое сильное из них произошло 24 мая в 12^h33^m на территории республики в 7 км от села Джейрах и в 2 км от российско-грузинской границы с интенсивностью сотрясений в эпицентре 4 балла. Землетрясение ощутили жители некоторых районов Северной Осетии–Алании и Ингушетии, а также Казбегского муниципалитета Грузии. Сеймотектоническая позиция очага землетрясения приходится на пересечение зоны Главного Кавказского надвига с частично погребённым сбросом антикавказской ориентировки и приурочена к северо-восточной оконечности Казбегской очаговой зоны, возможно имеющей связь с потухшим вулканом Казбек. Для очага этого землетрясения построен механизм по знакам первых вступлений Р-волн (рис. 5б), выделенных на 21 региональной станции, из них на 13 зарегистрированы волны растяжения, на восьми – волны сжатия. Согласно полученному решению, землетрясение возникло под действием растягивающих напряжений, ориентированных в северо-восточном

направлении. Тип движения по обеим плоскостям – нормальный сброс с небольшой сдвиговой компонентой, левосторонней – по *NP1* северо-западного простирания и правосторонней – по *NP2* юго-восточного простирания [Дмитриева и др., 2020]. Ещё одно землетрясение, зарегистрированное 23 мая в 19^h32^m с $K_p=9.8$, ощущалось в населённых пунктах Троицкая, Сунжа, Карабулак с интенсивностью $I_0=2.5–3$ балла. Очаг землетрясения расположен в зоне тектонического узла, образованного Тырныаузско-Сунженским глубинным разломом субширотного простирания и Даттых-Ахловской диагональной шовно-сдвиговой зоной.

Наибольшей сейсмической активностью, как и в прежние годы, отличается территория *Чеченской Республики*. В течение года здесь зарегистрировано 380 землетрясений в диапазоне энергетических классов $K_p=5.0–12.4$, с очагами в основном в земной коре, однако около 7% зарегистрированных землетрясений имели промежуточные глубины $h=70–120$ км. Девять из них имели глубины более 100 км, эпицентры их располагались вдоль глубинных разломов двух направлений: Кавказского (Пшекиш-Тырныауз-Аргудан-Сунженского) и диагонального (Бенойско-Эльдаровского). Основным сейсмическим событием 2020 г. стало сильное землетрясение 12 декабря в 21^h29^m на территории Урус-Мартановского района Чеченской Республики с $K_p=12.4$ и максимальной интенсивностью сотрясений в очаге 5 баллов. Очаг землетрясения с координатами эпицентра $\varphi=43.02^\circ N$, $\lambda=45.56^\circ E$ определён на глубине $h=17$ км и приурочен к зоне сочленения Владикавказской флексурно-разрывной и Даттых-Ахловской погребённой шовно-сдвиговой зон. Механизм землетрясения построен по знакам первых вступлений продольных Р-волн на 40 станциях, из них на 25 зарегистрированы волны растяжения, на 15 – волны сжатия (рис. 5в). Землетрясение возникло под действием превалирования напряжений сжатия, ориентированных на юго-восток, тип движения по обеим плоскостям – взброс. Незадолго до основного толчка в 21^h29^m в его очаговой зоне зарегистрирован форшок с $K_p=6.7$ с координатами эпицентра $\varphi=42.98^\circ N$, $\lambda=45.53^\circ E$ и глубиной $h=16$ км. В первые трое суток после основного толчка зарегистрировано и обработано около 135 афтершоков в интервале энергетических классов $K_p=5.0–11.3$, из которых пять были ощутимыми. Землетрясение ощущалось в пяти республиках РФ: Чечне, Ингушетии, Кабардино-Балкарии, Северной Осетии-Алании и Дагестане.

В **Кабардино-Балкарии** локализовано 60 сейсмических событий с $K_p=4.6-9.3$, основная часть которых сосредоточилась вдоль юго-восточной границы республики. В мае в Пятигорском узле Кисловодск-Нальчикской очаговой зоны зарегистрирован рой из пяти землетрясений с $K_p=6.4-9.3$.

В **Карачаево-Черкесии** локализовано 14 сейсмических событий с $K_p=6.4-9$. Наиболее заметное из них произошло 12 августа в 07^h30^m в 5 км от границы с Абхазией.

В **Ставропольском крае** зарегистрировано 27 землетрясений с $K_p=5.9-9.9$. Часть из них составили два небольших роя из шести землетрясений каждый. Группировались они на двух участках: в июне с $K_p=6.4-8.1$ – на юго-востоке края, и в августе с $K_p=6.9-9.9$ – в пределах Армавири-Невинномысской зоны правосдвиговых нарушений [Милановский и др., 1989; Расцветов и др., 2010].

На территории **Дагестана** в оперативном режиме было локализовано 161 землетрясение с $K_p=5-10.9$. Самое сильное из них с $K_p=10.9$ произошло 13 мая в 14^h51^m в селении Дылым и приурочено к Срединному разлому.

На территории **Южной Осетии** по сравнению с предыдущим годом наблюдается понижение сейсмической активности в два раза. Зарегистрированные 22 сейсмические события с $K_p=5.3-10.6$ сосредоточены на северо-западе республики в приграничной полосе с Грузией. Наиболее значительным было землетрясение, произошедшее 18 августа в 11^h50^m с $K_p=10.6$ в Джавском узле Они-Цхинвальской очаговой зоны, которое ощущалось в Дзауском районе с интенсивностью $I_0=4-4.5$ балла.

На территории **Грузии** зарегистрировано 196 землетрясений с $K_p=5.0-11.5$. Высокая плотность эпицентров традиционно имела место в приграничной к Северной Осетии–Алании с юго-востока территории Грузии в очаговой зоне Рача-Джавского землетрясения, которое произошло 29.04.1991 г. с $M=6.9$. В основном в течение года здесь наблюдался фоновый режим. Небольшая активизация сейсмичности зафиксирована в ноябре: 20 землетрясений с $K_p=5.7-9.7$. Самое сильное землетрясение зарегистрировано 4 ноября в 14^h04^m. Ещё одно скопление эпицентров землетрясений с $K_p=6.8-9.8$ наблюдалось на юге Грузии. Самое сильное землетрясение в регионе с $K_p=11.5$, произошедшее 12 июля в 05^h54^m, локализовано вне зоны ответственности СОФ ФИЦ ЕГС РАН.

Системой наблюдений также были зарегистрированы 13 сейсмических событий с $K_p=7.2-8.9$

на территории Азербайджана, пять землетрясений с $K_p=7.2-9.3$ – в Армении, пять землетрясений с $K_p=8.5-9.6$ – в акватории Каспийского моря, одно землетрясение с $K_p=8.3$ – в Турции.

Заключение

Представленный в работе материал, полученный по результатам сейсмологического мониторинга СОФ ФИЦ ЕГС РАН, отражает практически полную картину сейсмичности с $K_p \geq 4$ на территории центральной части Северного Кавказа в 2020 г., свидетельствующую о том, что по сравнению с таковой в 2019 г., в большей части республик (Северная Осетия–Алания, Ингушетия, Чечня, Южная Осетия) отмечен количественный и энергетический рост показателей сейсмичности. В зонах ответственности по Кабардино-Балкарии, Карачаево-Черкесии и части Ставропольского края сейсмичность осталась на том же уровне.

В течение года самыми значительными землетрясениями в центральной части Северного Кавказа были: 4–5-балльное Верхне-Фиагдонское 26 января с $K_p=11.2$; 4-балльное Джейрахское 24 мая с $K_p=10.7$; 5-балльное 12 декабря на территории Урус-Мартановского района Чеченской Республики с $K_p=12.4$, сопровождавшееся многочисленными афтершоками.

Результаты проведённых исследований позволяют более эффективно изучать изменения сейсмического режима рассматриваемой территории.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00576-21) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

Литература

- Акимов А.П., Красилов С.А. Программный комплекс WSG «Система обработки сейсмических данных» / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020664678 от 16.11.2020 г.
- 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 году по данным СОФ ФИЦ ЕГС РАН // Вестник Пермского университета. Геология. – 2019. – Т. 18, № 3. – С. 231–236. doi: 10.17072/psu.geol.18.3.231

- Габсатарова И.П.* Исследование пространственно-временных особенностей сейсмичности на Северном Кавказе: дисс. на соиск. уч. степ. канд. физ.-мат. наук. – М.: ИФЗ РАН, 2011. – 178 с.
- Габсатарова И.П., Девяткина Л.В., Селиванова Е.А.* Северный Кавказ // Землетрясения Северной Евразии. – Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 103–127.
- 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: 10.46698/о3499-8884-2835-г
- 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. – Т. 10, № 4. – С. 113–123. doi: 10.46698/VNC.2020.64.38.007
- Красилов С.А., Коломиец М.В., Акимов А.П.* Организация процесса обработки цифровых сейсмических данных с использованием программного комплекса WSG // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 77–83.
- Ландер А.В.* Описание и инструкция для пользователя комплекса программ FA (расчёт и графическое представление механизмов очагов землетрясений по знакам первых вступлений *P*-волн). – М.: Фонды автора, 2006. – 27 с.
- Ландер А.В.* Программа расчета и графического представления механизмов очагов землетрясений по знакам первых вступлений *P*-волн (FA) / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018662004 от 25 сентября 2018 г.
- Милановский Е.Е., Расцветаев Л.М., Кухмазов С.У., Бирман А.С., Курдин Н.Н., Симако В.Г., Тверитинов Т.Ю.* Новейшая геодинамика Эльбрусско-Минераловодской области Северного Кавказа // Геодинамика Кавказа. – М.: Наука, 1989. – С. 99–105.
- Милюков В.К., Миронов А.П., Стеблов Г.М., Шевченко В.И., Кусраев А.Г., Дробышев В.Н., Хубаев Х.М.* Современные горизонтальные движения основных элементов тектонической структуры осетинской части Большого Кавказа по GPS измерениям // Физика Земли. – 2015. – № 4. – С. 68–80. doi: 10.7868/S0002333715040079
- Погода Э.В., Багаева С.С., Саяпина А.А.* Регистрационные возможности сети сейсмологических наблюдений Северо-Осетинского филиала ГС РАН // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Восьмой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 266–269.
- Погода Э.В., Гричуха К.В., Кабиров О.Г.* Очаговые зоны землетрясений центральной части Северного Кавказа // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Десятой Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 265–268.
- Расцветаев Л.М., Маринин А.В., Тверитинова Т.Ю.* Позднелазийские дизъюнктивные системы и геодинамика Западного Кавказа // Физика Земли. – 2010. – № 5. – С. 31–40.
- Рогожин Е.А.* Современная геодинамика и потенциальные очаги землетрясений Кавказского региона // Современные математические и геологические модели природной среды: Сб. науч. тр. – М.: ОИФЗ РАН, 2002. – С. 244–254.
- Саяпина А.А., Багаева С.С., Горожанцев С.В.* О методико-технологических особенностях выполнения сейсмологических наблюдений в Северной Осетии // Теория и практика разведочной и промышленной геофизики: сборник научных трудов / Гл. ред. В.И. Костицын. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2018. – С. 252–258.
- Саяпина А.А., Багаева С.С., Дмитриева И.Ю., Калякин А.И., Горожанцев С.В., Дягилев Р.А.* К вопросу организации сейсмологических наблюдений на территории Северной Осетии // Теория и практика разведочной и промышленной геофизики: сборник научных трудов / Гл. ред. В.И. Костицын. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2019. – С. 237–244.
- Lee W.H.K., Valdes C.M.* HYPO71 PC: A personal computer version of the HYPO71 earthquake location program // U.S. Geological Survey Open File Report 85–749. – 1985. – 43 p.

Сведения об авторах

Саяпина Анна Анатольевна, директор СОФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ, Россия. E-mail: a_sayapina@gsras.ru

Багаева Софья Сергеевна, зам. директора-нач. сектора СОФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ, Россия. E-mail: s_bagaeva@gsras.ru

Дмитриева Изольда Юрьевна, вед. инженер СОФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ, Россия. E-mail: iza_ka@mail.ru

Горожанцев Сергей Владимирович, канд. геол.-мин. наук, нач. отдела ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия; науч. редактор СОФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ, Россия. E-mail: sgor@gsras.ru

Results of seismological observations on the territory of the Republic of North Ossetia–Alania and adjacent areas in 2020

© 2021 A.A. Sayapina¹, S.S. Bagaeva¹, I.Yu. Dmitrieva¹, S.V. Gorozhantsev^{2,1}

¹NOD GS RAS, Vladikavkaz, Russia; ²GS RAS, Obninsk, Russia

Received February 19, 2021

Abstract North-Ossetian Division of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (NOD GS RAS) carries out the continuous seismological observations of the central part of the North Caucasus region. The branch's seismological network includes 12 observation points located on the territory of the Republic of North Ossetia-Alania. The paper provides basic information about the places of installation of seismic stations and their equipment, and notes the registration possibilities of the network. The total number of registered seismic events and separately within the administrative territories in 2020 is given. The total released seismic energy is calculated. A comparison of the energy indicator with the previous year is given. The schedule of repeatability is calculated and constructed, which indicates the level of reliability of event registration. The analysis of the earthquakes foci distribution with reference to geotectonic structures is presented on the map of the epicenters of recorded seismic events with an indication of the distribution against the background of the focal zones. Identified and described the swarm sequences of seismic events, which occurred in the territories of the Republics of North Ossetia-Alania and Kabardino-Balkaria, as well as in the Stavropol Territory. The mechanisms of the foci for the three most powerful earthquakes are determined and their stereograms are given. The obtained results will allow us to study the changes in the seismic regime of the North Caucasus region more effectively.

Keywords earthquake, North Caucasus, seismological network, focal mechanism, surge, energy, schedule of repeatability, intensity.

For citation Sayapina, A.A., Bagaeva, S.S., Dmitrieva, I.Yu., & Gorozhantsev, S.V. (2021). [Results of seismological observations on the territory of the Republic of North Ossetia-Alania and adjacent areas in 2020]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 3(2), 86-95. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.2.05>

References

- Akimov, A.P., & Krasilov, S.A. (2020). [WSG software package “Seismic data processing system”]. Certificate of state registration of a computer program No. 2020664678. (In Russ.).
- Bagaeva, S.S., Sayapina, A.A., Dmitrieva, I.Yu., Gorozhantsev, S.V., & Grichukha, K.V. (2019). [Distribution of the earthquake's hypocenters in the seismological zones of the central part of the Northern Caucasus in 2018: data of North Ossetia (Alania) Regional Seismological Centre]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya* [Bulletin of Perm University. Geology], 18(3), 231-236. (In Russ.). doi: 10.17072/psu.geol.18.3.231
- 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 Iuga Rossii* [Geology and Geophysics of Russian South], 10(4), 113-123. (In Russ.). doi: 10.46698/VNC.2020.64.38.007
- Dmitrieva, I.Yu., Sayapina, A.A., Bagaeva, S.S., & Gorozhantsev, S.V. (2020). [The earthquake in Dzhey-rakh 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: 10.46698/o3499-8884-2835-r
- Gabsatarova, I.P. (2011). *Issledovaniye prostranstvenno-vremennykh osobennostey seysmichnosti na Severnom Kavkaze: Dis. na soisk. uch. step. kand. f.-m. nauk* [Study of the spatial-temporal features of seismicity in the North Caucasus: Diss. for the degree of candidate phys.-math. sciences]. Moscow, Russia: IPE RAS, 178 p. (In Russ.).
- Gabsatarova, I.P., Devyatkina, L.V., & Selivanova, E.A. (2008). [North Caucasus]. In *Zemletryaseniya Severnoy Evrazii* [Earthquakes of Northern Eurasia] (pp. 103-127). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
- Krasilov, S.A., Kolomiets, M.V., & Akimov, A.P. (2006). [Organization of processing of digital seismological data using the WSG software package]. In *Materialy Mezhdunarodnoy seysmologicheskoy shkoly “Sovremennyye metody obrabotki i interpretatsii seysmologicheskikh dannykh”* [Proceedings of the International Seismological Workshop “Modern Methods of

- Processing and Interpretation of Seismological Data”] (pp. 77-83). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
- Lander, A.V. (2006). *Opisaniye i instruktsiya dlya pol'zovatelya kompleksa programm FA (raschet i graficheskoye predstavleniye mekhanizmov ochagov zemletryaseniya po znakam pervykh vstupleniy P-voln)* [Description and instructions for the user of the FA software package (calculation and graphical presentation of earthquake source mechanisms based on the signs of the first arrivals of P-waves)]. Moscow, Russia: Author's funds, 27 p. (In Russ.).
- Lander, A.V. (2018). [Program for calculating and graphing the mechanisms of earthquake sources by signs of the first arrivals of P-waves (FA)]. Certificate of state registration of a computer program No. 2018662004. (In Russ.).
- Lee, W.H.K., & Valdes, C.M. (1985). HYPO71 PC: A personal computer version of the HYPO71 earthquake location program. In *U.S. Geological Survey Open File Report 85-749*, 43 p.
- Milanovskii, E.E., Rastsvetaev, L.M., Kukhmazov, S.U., Birman, A.S., Kurdin, N.N., Simako, V.G., & Tveritinov, T.Yu. (1989). [The latest geodynamics of the Elbrus-Mineralovodsk region of the North Caucasus]. In *Geodinamika Kavkaza* [Geodynamics of the Caucasus] (pp. 99-105). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
- Milyukov, V.K., Mironov, A.P., Steblov, G.M., Shevchenko, V.I., Kusraev, A.G., Drobyshev, V.N., & Khabaev Kh.M. (2015). The contemporary GPS-derived horizontal motions of the main elements of tectonic structure in the Ossetian segment of Greater Caucasus. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 51(4), 522-534. doi: 10.1134/S1069351315040072
- Pogoda, E.V., Bagayeva, S.S., & Sayapina, A.A. (2013). [Registration possibilities of the North Ossetian branch GS RAS seismological monitoring network]. In *Materialy Vos'moi Mezhdunarodnoi seismologicheskoi shkoly "Sovremennyye metody obrabotki i interpretatsii seysmologicheskikh dannyykh"* [Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Materials of the Eighth International Seismological Workshop] (pp. 266-269). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
- Pogoda, E.V., Grichukha, K.V., & Kabirova, O.G. (2015). [Focal zones of earthquakes in the Central part of the North Caucasus]. In *Materialy Desiatoi Mezhdunarodnoi seismologicheskoi shkoly "Sovremennyye metody obrabotki i interpretatsii seysmologicheskikh dannyykh"* (Otv. red. A.A. Malovichko) [Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Proceedings of the Tenth International Seismological Workshop (Ed. A.A. Malovichko)] (pp. 265-268). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
- Rastsvetaev, L.M., Marinin, A.V., & Tveritinova, T.Yu. (2010). Late-alpine fault systems and geodynamics of the West Caucasus. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 46, 394-403.
- Rogozhin, E.A. (2002). [Modern geodynamics and potential earthquake sources of the Caucasus region]. In *Sovremennyye matematicheskie i geologicheskie modeli prirodnoi sredy* [Modern Mathematical and Geological Models of the Environment] (pp. 244-254). Moscow, Russia: UIPE RAS (In Russ.).
- Sayapina, A.A., Bagaeva, S.S., Dmitrieva, I.Yu., Kaliakin, A.I., Gorozhantsev, S.V., & Dyagilev, R.A. (2019). [To the problem of organization of seismological observations on the territory of North Ossetia]. In *Teoriya i praktika razvedochnoi i promyslovoi geofiziki: sbornik nauchnykh trudov* (Gl. red. V.I. Kostitsyn) [Theory and practice of exploration and petroleum geophysics (Ch. ed. V.I. Kostitsyn)] (pp. 237-244). Perm: Perm State National Research University Publ. (In Russ.).
- Sayapina, A.A., Bagaeva, S.S., & Gorozhantsev, S.V. (2018). [About methodological and technological features of seismological observations in North Ossetia]. In *Teoriya i praktika razvedochnoi i promyslovoi geofiziki: sbornik nauchnykh trudov* (Gl. red. V.I. Kostitsyn) [Theory and practice of exploration and petroleum geophysics (Ch. ed. V.I. Kostitsyn)] (pp. 252-258). Perm: Perm State National Research University Publ. (In Russ.).

Information about authors

Sayapina Anna Anatolyevna, Director of the North-Ossetian Division of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (NOD GS RAS), Vladikavkaz, Russia. E-mail: a_sayapina@gsras.ru

Bagaeva Sofya Sergeevna, Deputy Director-Head of information processing and analysis sector of the NOD GS RAS, Vladikavkaz, Russia. E-mail: s_bagaeva@gsras.ru

Dmitrieva Isolda Yurievna, Leading Engineer of the NOD GS RAS, Vladikavkaz, Russia. E-mail: iza_ka@mail.ru

Gorozhantsev Sergey Vladimirovich, PhD, Head of Department of the GS RAS, Obninsk, Russia; Scientific Editor of the NOD GS RAS, Vladikavkaz, Russia. E-mail: sgor@gsras.ru